This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Library
of the
University of Wisconsin

Die Ausnutzung der Wasserkräfte

Technische und wirtschaftliche Grundlagen
Neuere Bestrebungen der Kulturländer

Von

E. Mattern
Wasserbauinspektor in Berlin

Mit 66 Abbildungen im Text

Leipzig
Verlag von Wilhelm Engelmann
1906

Alle Rechte, besonders das der Übersetzung, vorbehalten.

649 26 41

109147
AUG 2 1907
SV
·M42

Vorwort.

Diese Schrift ist ein Versuch, die Ausnutzung der Wasserkräfte unter dem Gesichtspunkt der Technik und des Wirtschaftslebens zu behandeln. Das Bestehende ist darin nach seiner Aufgabe und Zweckerfüllung, sowie nach den Anordnungen und Konstruktionen ausgeführter Anlagen dargestellt, und es sind die durch Forschung und Praxis gefundenen wasserwirtschaftlichen Ergebnisse und Erfahrungen im Bau und Betrieb von Wasserkraftunternehmungen — auch hinsichtlich der wirtschaftlichen Erträge — zusammengefaßt. Die Frage des künstlichen Ausgleichs im Wasserhaushalt durch Sammelbecken, die der Verfasser eingehend in der Abhandlung: »Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft« [1]) erörtert hat, wird hier in dem Maße berührt, als damit die Wasserkraftnutzung in Beziehung steht. Eine Anzahl tabellarischer für Voruntersuchungen und den Entwurf erwünschter Zusammenstellungen ist dem Text beigegeben.

Die Anlage von Wasserkraftwerken wird in der Literatur meist unter dem Gesichtspunkt des Maschinenkonstrukteurs behandelt und dabei der Bau der Turbinen und anderer maschineller Einrichtungen in den Vordergrund gestellt. Die vorliegende Arbeit faßt die Nutzbarmachung der Wasserkräfte vom Standpunkt des Hydrotekten und Bauingenieurs auf. Die Gebiete des Maschinenbaues und der Elektrotechnik sind darin insoweit gestreift, als die Kenntnis dieser Zweige der Ingenieurwissenschaften für das Gesamtverständnis, die Aufstellung des allgemeinen Entwurfs, die Anordnungen der wasserbaulichen Arbeiten und die wirtschaftlichen Ertragsberechnungen notwendig ist.

Die letzten Jahre haben eine ungewöhnliche Entwicklung der Wasserkraftnutzung in allen Ländern gebracht und eine schier unermeßliche Fülle neuer Werke erstehen lassen. Die außerordentliche Mannigfaltigkeit dieser Konstruktionen bietet dem Studium eine reiche Fundgrube.

---

1) Berlin 1902.

Aber es möchte fast unmöglich erscheinen und könnte nur verwirrend wirken, wollte man alle diese Einzelheiten zusammentragen, und es würde unzählige Abbildungen erfordern, wenn man auch nur die wesentlichsten neueren Anlagen zur Darstellung bringen wollte. Das Studium kann nur die Erkenntnis der grundlegenden Bedingungen zum Ziele haben. Im Besitze klarer Anschauungen über allgemein gültige Leitsätze wird der Ingenieur sich schnell der Eigenart des Einzelfalles anzupassen vermögen. Die Schrift hat sich deswegen darauf beschränkt, von den konstruktiven Formen und sonstigen technischen Grundlagen charakteristische Erscheinungen herauszugreifen, soweit dies notwendig erschien, um die Ausführungen des Textes dem allgemeinen Verständnis näher zu bringen.

Am Schlusse ist eine Übersicht über den gegenwärtigen Stand der Wasserkraftfrage und die neueren Bestrebungen zur Ausnutzung der Wasserkräfte in den Hauptkulturländern gegeben, die erkennen läßt, wie heute überall die regste Tätigkeit und Entfaltung auf diesem Wirtschaftsgebiet vorherrscht.

Der Verfasser hat Gelegenheit gehabt, bei der Entwurfsbearbeitung und beim Bau mehrerer Talsperren- und Wasserkraftanlagen und den damit verbundenen wasserwirtschaftlichen Untersuchungen die günstigen Vorbedingungen kennen zu lernen, die die deutschen Mittelgebirge für die Errichtung von Staubecken und die Nutzbarmachung der Wasserkräfte darbieten. So ist die Schrift zum großen Teil aufgebaut auf der Grundlage der in der Praxis und Bauausführung gewonnenen Anschauungen, die eine Erweiterung erfahren haben durch Reisen im Auslande und die Besichtigung von Wasserkraftzentralen in der Schweiz und in Österreich. Möge sie dazu beitragen, den Gedanken einer gesteigerten Wasserkraftverwertung in Deutschland zu fördern, nachdem das Ausland auf diesem Wege zu so bedeutenden Erfolgen gelangt ist. Darin würde der Nutzen einer solchen Studie für die Allgemeinheit liegen, und diesem Wunsche verdankt die Arbeit ihr Entstehen.

Berlin, im Juni 1906.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Geschichtlicher Rückblick 1

II. Die Vorarbeiten zu Wasserkraftunternehmungen 5

III. Die technischen Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte . . . 8

A. Die Wassermenge 8

Ermittelung der Niederschlags- und Abflußmengen 9

Ausgleich des Wasserabflusses 20

Betriebswassermenge 26

B. Das Gefälle 31

Triebwerkkanäle und Stollen 31

Druckrohrleitungen 45

Sicherungen an Druckleitungen 60

Gewinnung von Gefällhöhe durch Aufstauung in Sammelbecken . . 64

C. Das Kraftwerk und seine Einrichtung 66

Die Lage des Kraftwerkes 66

Die Einrichtung des Kraftwerkes 67

Die Wassermotoren 77

Nebenanlagen 84

Gesamtanordnungen 84

D. Die Wasserkraftnutzung am Gewinnungsort und die Fernübertragung . . 92

Kraftnutzung am Gewinnungsort und ältere Kraftübertragungsarten . 92

Kraftübertragung mittels Druckwasser und Druckluft 95

Elektrische Kraftübertragung 97

Wahl des Betriebsstromes 100

Sicherung des Betriebes und Einrichtung der Fernleitungen 106

Wirkungsgrad der Umsetzung und elektrischen Fernübertragung der Wasserkräfte 110

Kraftübertragung ohne Draht 113

E. Vereinigung von Wasser- und Wärmekraft. Wasserkraftnutzung an kanalisierten Flüssen 114

Vereinigte Wasser- und Wärmekraftanlagen im allgemeinen 114

Wasserkraftnutzung an Kanälen und kanalisierten Flüssen 117

Ausgeführte Anlagen zum gemeinschaftlichen Betrieb für Schiffahrts- und Kraftzwecke 119

Seite

IV. Die wirtschaftlichen Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte 123

A. Die Kosten der Wasserkräfte 123

B. Der Ertrag der Wasserkraftunternehmungen. Tarife und Betriebsergebnisse 130

Tarife und Betriebsergebnisse 136

C. Vergleich zwischen Wasser- und Wärmekraft in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung 150

Wirtschaftliche Berechnungen über den Wert der Wasserkräfte an Kanälen und kanalisierten Flüssen 156

Vergleichende Voruntersuchungen für eine Talsperren- und Wasserkraftanlage 161

V. Neuere Bestrebungen zur Ausnutzung der Wasserkräfte in den Kulturländern 169

1. Die Wasserkraftfrage der Gegenwart. 169

Wirtschaftsgebiete für die Verwertung der Wasserkräfte 170

Statistik der Wasserkräfte 171

Länder mit beginnender Entwicklung der Wasserkraftnutzung. . . . 173

2. Der heutige Stand der Wasserkraftnutzung in den Kulturländern 176

A. Die Schweiz 176

Wasserwirtschaftliche Verhältnisse 177

Schweizerische Wasserkraftanlagen 180

Wirtschaftspolitische Verhältnisse der Wasserkraftnutzung 185

B. Österreich-Ungarn. 189

Neuere wasserwirtschaftliche Unternehmungen und Voruntersuchungen 190

Österreichische Wasserkraftanlagen 195

C. Italien. 195

Entwicklung der Wasserkraftnutzung. 196

Staatliche Förderung der Wasserkraftnutzung 197

Hydro-elektrische Kraftwerke in Oberitalien 198

D. Frankreich 201

Wasserkraftverhältnisse im Südosten Frankreichs 203

Die Wasserkraftverhältnisse im Zentrum, Westen und Norden Frankreichs. 208

Staatliche Förderung der Wasserkraftausnutzung und der Kongreß de la Houille Blanche in Grenoble 208

E. Schweden. Norwegen 211

Neuere Wasserkraftanlagen 211

Gewerbliche und staatliche Verwertung der Wasserkräfte in Schweden und Norwegen 212

F. England 214

Seite

G. Amerika 218
Die amerikanischen Wasserkraftverhältnisse 218
Neuere amerikanische Wasserkraftunternehmungen 221
Wasserkraftnutzung in Kalifornien und am Niagarafall 228
Wirtschaftspolitische Momente in der amerikanischen Wasserkraftverwertung 231
H. Deutschland 234
Rückblick auf die Entwicklung der neueren deutschen Wasserkraftnutzung 234
Neuere deutsche Wasserkraftunternehmungen 236
Leitende Gesichtspunkte für die deutsche Wasserkraftnutzung 252

I. Geschichtlicher Rückblick.

Nach geschichtlichen Überlieferungen hat die Ausnutzung der Wasserkräfte schon früh im Altertum stattgefunden. Es soll das Volk der Chalder gewesen sein, das sich in dieser Kunst um das Jahr 600 vor unserer Zeitrechnung hervortat, wovon noch heute bestehende Kanäle Zeugnis geben. Auch aus Deutschland sind Nachrichten von frühzeitiger Betätigung vorhanden. Nach den Mitteilungen von Grasser[1]) soll sich urkundlich nachweisen lassen, daß in Berlin im Jahre 1286 Mühlen und in Augsburg 1337 Schneidesägen mit Wasserkraft betrieben wurden.

Die Geschichte der Entwicklung der Wasserkraftmaschinen ist zugleich die der Wasserkraftnutzung überhaupt. Indem man diesen Gang der Dinge überblickt, lassen sich nach Zodel[2]) drei Hauptabschnitte erkennen:

1. die Wasserkraft als Unterstützung der Tier- und Menschenkraft,
2. die Wasserkraft im Zeitalter der Dampfmaschine, und
3. die Wasserkraft im Zeitalter der Elektrizität.

In der ersten Entwicklungsstufe erfolgte die Nutzbarmachung in den einfachsten baulichen Formen und lediglich durch Wasserräder. Die theoretischen Untersuchungen über die Wirkungsweise der Räder heben schon im 16. Jahrhundert an. Die geringe Nutzwirkung der alten Konstruktionen von nur 30 bis 35 v. H. der rohen Wasserkraft steigerte sich durch Verbesserungen auf 60, ja 70 bis 80 v. H., und einen bemerkenswerten Fortschritt bedeutete die Einführung des Eisens als Baustoff gegenüber der früheren alleinigen Verwendung von Holz. In dem zweiten Abschnitt treten neben den vervollkommneten Rädern die Turbinen auf. Die Anfänge des Turbinenbaues reichen bis in das 18. Jahrhundert zurück, und Bernoulli (Reaktionswirkung), Segner (Wasserrad), Euler

1) Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895 S. 294.

2) Schweizerische Bauz. 1903.

(Leitapparat) u. a. sind die bemerkenswerten Förderer der Vorstudien[1]). Die praktische Betätigung begann im Anfange des 19. Jahrhunderts, wobei Frankreich den Ausgangspunkt bildete. Zunächst wurden diese Motoren für niedere Gefälle errichtet. Diese Neuerung führte in Amerika zu bedeutenden Kraftanlagen, von denen vielleicht die größte jene im Merrimac-Flusse in den Vereinigten Staaten ist, die im Jahre 1822 mit 10 000 PS. bei der Stadt Lowell erbaut wurde[2]). Man nannte dieses Werk bezeichnend »The pioneer large water power«. Einen weiteren Schritt vorwärts bedeutet die Umschließung der Turbine mit einem wasserdichten Gehäuse, zu dem das Kraftwasser mittels geschlossener eiserner Rohrleitung geführt wird. Diese Erfindung lieferte eine der Hauptkonstruktionsformen der Neuzeit. Während die alte Wasserkrafttechnik ihre Aufmerksamkeit lediglich der Ausnutzung großer Wassermengen mit kleinen Gefällen zugewandt hatte, eröffnete diese neue Erscheinung die Bahn zu dem entgegengesetzten Bestreben: Verwertung hoher Gefälle bei kleiner Abflußmenge. Als die erste Anlage dieser Art wird das Kraftwerk Genesee Falls bei Rochester in Nordamerika vom Jahre 1857 angegeben. Die Turbinen arbeiteten hier unter einem Druck von 27 m. In gleicher Zeit entstanden auch die ältesten Hochdruckanlagen an den Niagarafällen.

Es würde hier zu weit führen, die Einzelheiten der vielen Konstruktionen zu erörtern, die den Weg der Entwicklung des Turbinenbaues bis zu den heute gebräuchlichen Formen bezeichnen. Die bedeutendsten Fortschritte heften sich an die Namen Girard, Francis und Pelton; die Erfindungen dieser Männer in ihren mannigfachen Abstufungen beherrschen die Gegenwart. Es ist naturgemäß, daß der Bau von Wasserkraftmaschinen dort besondere Pflege fand, wo die Natur durch die günstige Geländegestaltung zur Ausnutzung der Wasserkräfte anregte. Am lebhaftesten haben sich auf diesem Gebiete betätigt Frankreich, die Schweiz, Amerika und Deutschland; neuerdings auch Österreich, Italien, Schweden und Norwegen.

Die volle Ausbildung erlangte der Turbinenbau erst durch die Verwertung der Elektrizität bei Ausnutzung der Wasserkräfte. Der geschichtliche Rückblick läßt erkennen, wie vordem die Wasserkraftwerke mit nur kleinen Einheiten arbeiteten. Gewinnung und Verwertung der Kraft lagen damals an einer Stelle. Innerhalb des Fabrikgebäudes oder

1) W. Müller, Francisturbinen.

2) Progress in Hydraulic Power Development. Eng. Rec. 1903 I S. 24.

doch auf nur kurze Strecke außerhalb erfolgte die Übertragung mittels Rädergetriebe, Riemen oder Drahtseil von der Kraft- zur Arbeitsmaschine. Motore bis zu 300 PS. Leistung gehörten zu den Seltenheiten. Der Aufbau der großen Einheiten begann mit der Einführung der Elektrizität. Die erste größere Einheitsleistung brachte nach Zodel die Anlage von Neuhausen am Rhein mit einer 600 PS.-Maschine. Turbine und Dynamo saßen hier auf einer gemeinsamen senkrechten Achse. Dann trat die elektrische Fernübertragung hinzu, die die Wasserkraftverwertung loslöste von der Gebundenheit der Scholle und in den Überlandzentralen die neueste Form der Erscheinung darstellt. Es ist bekannt, daß diese Aufgabe zuerst praktisch gelöst wurde durch die Übertragung Lauffen-Frankfurt (177 km) im Jahre 1891. Die Krafteinheiten steigerten sich in den nächsten Jahren in Europa auf 2200 PS. bei dem Werke Mailand-Paderno und auf 3000 PS. am Glommen bei Christiania, vor allem aber in Amerika. Dort wurden an den Niagarafällen im Jahre 1900 Turbineneinheiten von 5500 PS. eingebaut. Die Shavinigan-Anlage erhielt 1902/03 6000 PS.- und jetzt 12500 PS.- und neuerdings die Niagarafälle 10000 PS.-Einheiten. Es mag hier interessieren, daß zurzeit die größte Wassermenge in den Werken von Sault St. Marie (Michigan) mit 900 cbm sekundlich ausgenutzt wird, während das größte Nutzgefälle von 950 m das Kraftwerk Vouvry in der Nähe des Genfer Sees besitzt. Das Bestreben zum Großbetriebe, das heute auf allen Gebieten gewerblicher Tätigkeit hervortritt, ist damit auch in der Wasserkraftausnutzung unverkennbar dargelegt.

Gleichlaufend mit der Vervollkommnung der hydraulischen Maschinen fand die Kenntnis der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in den Gebirgstälern und an den Flußläufen die lebhafteste Förderung. In der besseren Übersicht, die dadurch über die Möglichkeit der Erschließung von Wasserkräften gewonnen wurde, lag ein wesentlich anregendes Moment. Als der bedeutendste Eingriff in die natürliche Beschaffenheit der Wasserläufe kennzeichnet sich die künstliche Ausgleichung der Abflußmengen durch Talsperren und Sammelbecken. Diese der neuesten Zeit angehörenden Bestrebungen sind in Deutschland untrennbar verbunden mit dem Namen Intze. Darüber darf man nicht die Fortschritte auf dem Gebiete der konstruktiven Entwicklung der Bauformen übersehen. Für die Entfaltung der neuzeitlichen Mauertechnik kann die für Wasserbauten heute unentbehrliche Massenerzeugung von Zement, Traß und

anderen Bindemitteln als Vorbedingung angesehen werden. Die reichlichere Verwendung von Beton und Eisenbeton hat die Vorzüge erwiesen, welche diese Baustoffe für die leichte Herstellung der geschwungenen Formen der Turbinenkanäle besitzen. Der Ausbau von Stollen in den Gebirgen zur Abkürzung der Wasserwege und die Möglichkeit der Eisentechnik, Rohrleitungen zu liefern, die den hochgespannten Druck hoher Nutzgefälle mit Sicherheit übertragen können, wirkten in gleichem Sinne fördernd. Alle diese Fortschritte waren notwendig, um die bedeutenden Wasserkraftunternehmungen der Gegenwart erstehen zu lassen.

II. Die Vorarbeiten zu Wasserkraftunternehmungen.

Die Vorarbeiten zu Wasserkraftanlagen sind technischer und wirtschaftlicher Art. Die bestimmenden Größen in technischer Hinsicht sind die Wassermenge Q und das Nutzgefälle h, deren Zusammenwirken als wirtschaftlichen Wert die Rohkraft Qh liefert. Das Produkt Qh legt die Kraftleistung des Werkes fest, sofern nicht eine Kraftergänzung durch Wärme stattfindet. Die Voruntersuchungen für die Ermittelung der Zahlenwerte von Q und h bedingen eingehende Geländeaufnahmen, Wasserabflußmengen-Messungen oder -Berechnungen und geologische Studien; letztere haben bei den neueren Talsperrenanlagen einen nicht unwesentlichen Raum eingenommen. In engstem Zusammenhang hiermit steht die Frage nach der Lage des Kraftwerkes und seiner Einrichtung. Alle diese Feststellungen halten sich bei der vorläufigen Planung eines Unternehmens in großen Zügen. Wasserbau, Maschinenbau und Elektrotechnik arbeiten hierbei Hand in Hand; aber dem ersteren fällt der Hauptanteil zu. Bei Ausnutzung der Wasserkräfte, sagt E. Reichel, sind in den weitaus meisten Fällen nicht die Turbinen selbst der maßgebende Faktor, sondern die örtlichen Verhältnisse und damit im Zusammenhange die oft außerordentlich hohe Summen und eine jahrelange Arbeitskraft in Anspruch nehmenden Wasserbauten. Der Konstruktion und dem Einbau der Turbinen müssen diese wichtigen Arbeiten vorangehen. Sie sind es, an welche die Ertrags- und damit die Lebensfähigkeit der ganzen Anlage geknüpft ist, ohne welche die größten Wasserkräfte brach liegen bleiben müssen, nicht aber die — einige wenige Hundertstel mehr oder weniger Nutzwirkung gebenden — Turbinen[1]). Die Vorarbeiten zu Wasserkraftanlagen bedingen daher eine Übersicht

1) Studien über Wasserkräfte in Amerika.

auch über das Arbeitsgebiet des Maschinenbaues und der Elektrotechnik, deren Einrichtungen bei den Überlandzentralen stets einen ansehnlichen Anteil an den Gesamtkosten haben, insoweit, als dies die allgemeine Gestaltung der baulichen Anordnungen des Krafthauses, der Kraftverteilung und der Aufstellung von Kostenüberschlägen erheischt.

Gleichen Schritt mit diesen technischen Untersuchungen müssen die wirtschaftlichen Aufrechnungen nehmen. Es ist selten, daß eine Anlage durch die gegebenen natürlichen Verhältnisse eindeutig bestimmt ist; meist werden mehrere Möglichkeiten der Ausführung vorhanden sein. Daraus ergeben sich Kosten- und Vergleichsberechnungen und Wertschätzungen, um die jährlichen Ausgaben mit den Einnahmen des geplanten Unternehmens in Einklang zu bringen. Die Frage der Absatzfähigkeit der gewonnenen Kraft steht dabei in erster Linie. Haben diese Ermittelungen zu günstigen Ergebnissen geführt, so ist die Aufgabe der Geldaufbringung zu lösen. Wasserkraftwerke sind heute meist private Unternehmungen, und es ist für den Ingenieur oft schwierig, Fernerstehenden den Kern und das Wesen eines Planes zu entwickeln, sie von dem erreichbaren Nutzen zu überzeugen und für die Ausführung zu erwärmen. Das Verständnis für den Geldwert der Wasserkräfte ist in Deutschland noch gering und erst im Erwachen begriffen.

In diesen wasserwirtschaftlichen Untersuchungen machen sich noch eine Reihe von Einflüssen geltend, die in der Eigenart des fließenden Wassers und in seinen vielseitigen Wirkungen auf unsere Lebensverhältnisse begründet sind. Es sind dabei zu berücksichtigen die landwirtschaftlichen Interessen für die Bewässerung und Düngung der Ländereien, die Forderungen des Hochwasserschutzes und der Schiffahrt, die bisherige Nutznießung des Wassers und die Schadloshaltung für seine Entziehung. Diese Gesichtspunkte sind besonders hervorgetreten bei den neueren Talsperrenanlagen. In dem Entwicklungsgange dieser großen Unternehmungen ist mehr und mehr die Erkenntnis zutage getreten, daß die zweckmäßige Wasserkraftverwertung eines Landes sich nicht in zusammenhanglosen Einzelanlagen verlieren darf, vielmehr hier ein einheitlich zu behandelndes Wirtschaftsgebiet vorliegt. Genossenschaften und Gesellschaften haben sich gebildet oder Staat und Gemeindeverbände haben die Ausführung unternommen. Es ist naturgemäß schwierig, diese verschiedenartigen Interessen zu vereinigen und eine billige Kostenverteilung herbeizuführen.

In kurzen Umrissen sind hier die Vorarbeiten zu Wasserkraftanlagen gezeichnet. In den nachfolgenden Abschnitten sollen die berührten Gebiete ausführlicher besprochen werden. Dabei sind technisch weniger die konstruktiven Anordnungen im einzelnen zur Darstellung gebracht, als die hydrographischen Beziehungen und die allgemeinen Gesichtspunkte für die Fassung des Wassers, seine Zuführung zu den Turbinen, sowie für den Ausbau des Kraftwerkes und die Nutzbarmachung der Energie erörtert. Diese grundlegenden Bedingungen sind es, die der Ingenieur zunächst prüfen muß, wenn er an die Planung eines Wasserkraftunternehmens herantritt. Wenn diese Grundlagen erkannt sind, so baut sich darauf die weitere Aufgabe des Konstrukteurs auf, der sich mit seiner Lösung den gegebenen, in jedem Falle sehr verschiedenen örtlichen Verhältnissen anpassen muß.

III. Die technischen Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte.

A. Die Wassermenge.

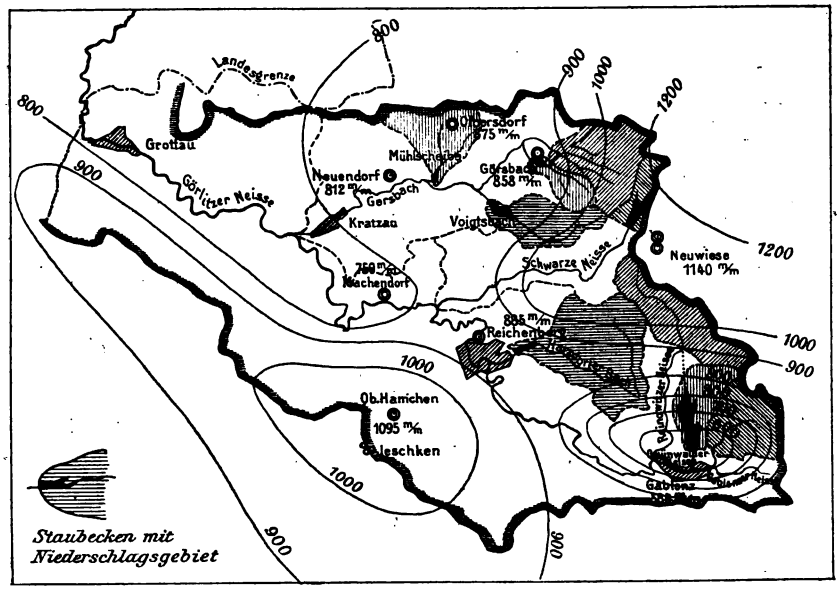
Die erste Aufgabe beim Entwurf von Wasserkraftanlagen ist die Bestimmung des Wasserabflusses. Endgültigen Aufschluß darüber können nur unmittelbare Messungen geben. Nicht aus gelegentlichen, selbst nicht aus täglichen Feststellungen kann man bei dem schroffen Wechsel in der Wasserführung der Gebirgsbäche die Jahresabflußmenge berechnen, sondern nur durch ununterbrochene Aufzeichnung selbstschreibender Apparate. Diese Abflußmengenmessungen sind zeitraubend und müssen sich über eine Reihe von Jahren — wenigstens etwa zehn — erstrecken, wenn sie ausreichende Gültigkeit für die Beurteilung des Wasserhaushaltes haben sollen. An den schiffbaren Flüssen sind Beobachtungen über die Wasserbewegungen zum Teil schon seit Jahrzehnten angestellt. Diese Pegelablesungen haben sich bei den Vorarbeiten zu Wasserkraftanlagen oft als wertvoll erwiesen, denn man ist imstande, daraus nachträglich die Abflußmengen zu ermitteln, wenn man sich auf Grund von jetzt vorzunehmenden unmittelbaren Messungen eine Abflußkurve bildet. Voraussetzung ist dabei allerdings, daß sich die Höhenlage des Pegels und die Strombettverhältnisse nicht geändert haben[1]). Für die Kenntnis der Abflußverhältnisse in den Gebirgsflüssen liegen aber selbst solche Beobachtungen nur in seltenen Fällen vor. Und wenn auch heute ein kräftiges Vorgehen zur Erforschung auf diesem Gebiete sich anbahnt, so werden doch noch Jahrzehnte vergehen, ehe verläßliche Beobachtungsreihen vorliegen. Am besten ist noch unsere Kenntnis von den Niederschlägen. Regenmesser an vielen Stellen des Landes, in verschiedener Lage über Meereshöhe aufgestellt, haben lange Jahre hindurch die

1) Zentralbl. der Bauverwaltung. 1900 S. 260.

Niederschläge verzeichnet und zur Ausarbeitung von übersichtlichen Regenkarten mit Linien gleicher Regenhöhe geführt. Die Veröffentlichung über die Ergebnisse dieser Beobachtungen erfolgt für Preußen durch das Kgl. Preuß. Meteorologische Institut, nachdem im Jahre 1887 die Einrichtung eines ganz Norddeutschland umfassenden Netzes von Regenstationen ihren Anfang genommen hatte.

Ermittelung der Niederschlags- und Abflußmengen.

Die Messungen der Niederschlags- und Abflußmengen sind notwendig, um ein klares Bild des Wasserhaushaltes zu bekommen. Für die



Nach Intze, Talsperren im Quellgebiet der Görlitzer Neiße.

Abb. 1. Regenkarte mit Linien gleicher Niederschlagshöhe.

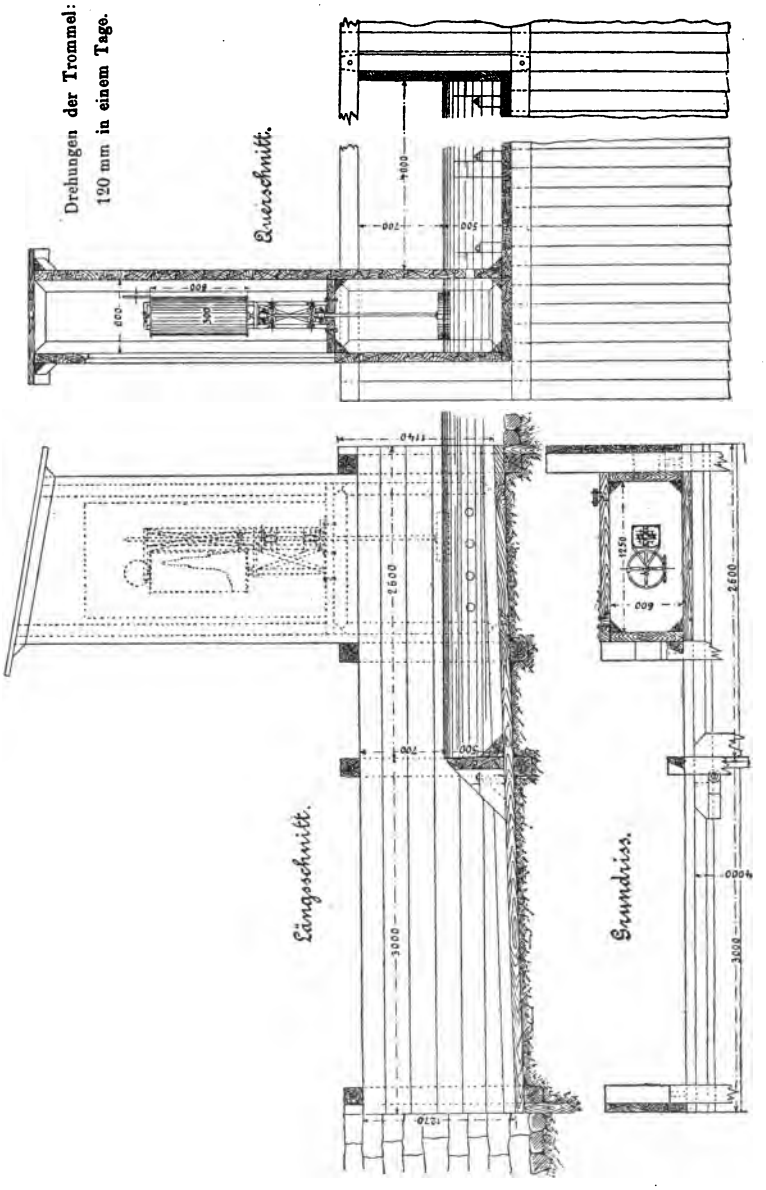
Ermittelung der Höhe der jährlichen Niederschläge werden im Einzugsgebiet des Wasserlaufes entweder gewöhnliche Regenmesser aufgestellt, die in regelmäßigen Zwischenräumen, etwa täglich einmal, beobachtet werden, oder selbstaufzeichnende Regenmesser, die die Niederschläge nach Zeit und Menge aufschreiben. Bei größeren Beobachtungsgebieten empfiehlt es sich, mehrere Messer in verschiedener Meereshöhe aufzustellen, da die Regenhöhen mit den Gebirgshöhen und mit der Lage

— gegen den Wind oder im sog. Regenschatten — wechseln. Auf Grund dieser Ergebnisse können dann die Regenkarten angefertigt werden (Abb. 1). Die festgestellte Regenhöhe multipliziert mit der Größe des Niederschlagsgebietes ergibt die gesamte Wassermenge, die herniedergegangen ist.

Die Messung der Abflußmengen wird möglichst in der Nähe jener Stelle des Flusses vorgenommen, an der das Kraftwerk oder die Talsperre angelegt werden soll. Für überschlägliche Ermittelungen können Schwimmermessungen genügen. Mittels einfacher Kugelschwimmer wird die Wassergeschwindigkeit der Oberfläche in einer am Ufer ausgemessenen Flußstrecke ermittelt und durch entsprechende Verkleinerung um etwa 0,8 die mittlere Geschwindigkeit gefunden. Diese Messungen müssen bei verschiedenen Wasserständen wiederholt werden. Nach Aufmessung des Querprofiles innerhalb der Meßstrecke kann man sich die Abflußmengen (Fv) berechnen und hiernach eine Abflußmengenkurve aufzeichnen. Wenn man diese Kurve in Beziehung setzt zum Nullpunkt eines Pegels, der am Meßquerschnitt für diesen Zweck errichtet ist, so ist man in der Lage, aus täglich mehrmals wiederholten Pegelablesungen den Abfluß des Flusses unmittelbar zu verfolgen. Dieses Verfahren liefert im ganzen befriedigende Ergebnisse.

Für genaue Messungen empfiehlt es sich, in den Wasserlauf ein Wehr einzubauen (Abb. 2). Der Fachbaum dieses Wehres wird durch eine scharfe Kante — etwa ein senkrecht gestelltes Flacheisen — genau wagerecht abgeglichen. Neben dem Wehre wird ein kleines Becken angelegt, das mit dem Oberwasser des Baches in Verbindung steht. Hier findet in einem Holzhäuschen ein meist durch ein Gewicht getriebenes Uhrwerk Platz. Dieses Uhrwerk bewegt eine senkrecht stehende Trommel; es geht in der Regel eine Woche lang, bevor es neu aufgezogen werden muß, und in der gleichen Zeit dreht sich die Trommel einmal um ihre Achse. Auf diese Trommel wird ein Papierbogen gespannt, dessen wagerechte Teilung die sieben Tage der Woche angibt, während die senkrechte Seite in mm eingeteilt ist. Außer diesem Apparat befindet sich in dem Holzgehäuse ein Schwimmer, bestehend aus einer Blechkapsel, die im Wasser des vorerwähnten Beckens schwimmt, und aus einer lotrechten Stange, in der senkrecht dazu ein Bleistift angebracht ist. Dieser Schwimmer, der zwischen vier Rollen geführt wird, geht mit dem wechselnden Wasserstande des Baches auf und nieder und zeichnet auf

dem Papier der Trommel die Schwankungen in natürlichem Maßstabe



Nach Intze, Bessere Ausnutzung der Gewässer und Wasserkräfte.

Abb. 2. Selbstaufzeichnende Meßvorrichtung zur Bestimmung der Wasserabflußmengen an einem Wehrüberlauf.

auf. Die Höhenlage der Trommel ist so eingerichtet, daß der Nullpunkt des Maßes auf der Trommel mit der scharfen Kante des Wehres in Be-

ziehung steht. Durch unmittelbare Messung der Dicke des Wasserstrahles über dem Wehr kann man das richtige Gehen des Bleistiftzeigers verfolgen. Die Länge der Schwimmerstange wie auch der Gang des Uhrwerks bedarf wegen der Wärmeschwankungen und sonstiger Witterungseinflüsse einer steten Aufsicht und gegebenenfalls der Berichtigung. Starke Wellenbewegungen sind vom Schwimmer fernzuhalten. Deswegen wird das Instrumentenhäuschen gegen den offenen Bachlauf durch eine mit Löchern versehene Bohlwand abgeschlossen. Bei der täglich stattfindenden Revision der Meßanlage werden die Temperaturen aufgezeichnet, wenn hierfür nicht auch ein selbstschreibendes Instrument angebracht wird.

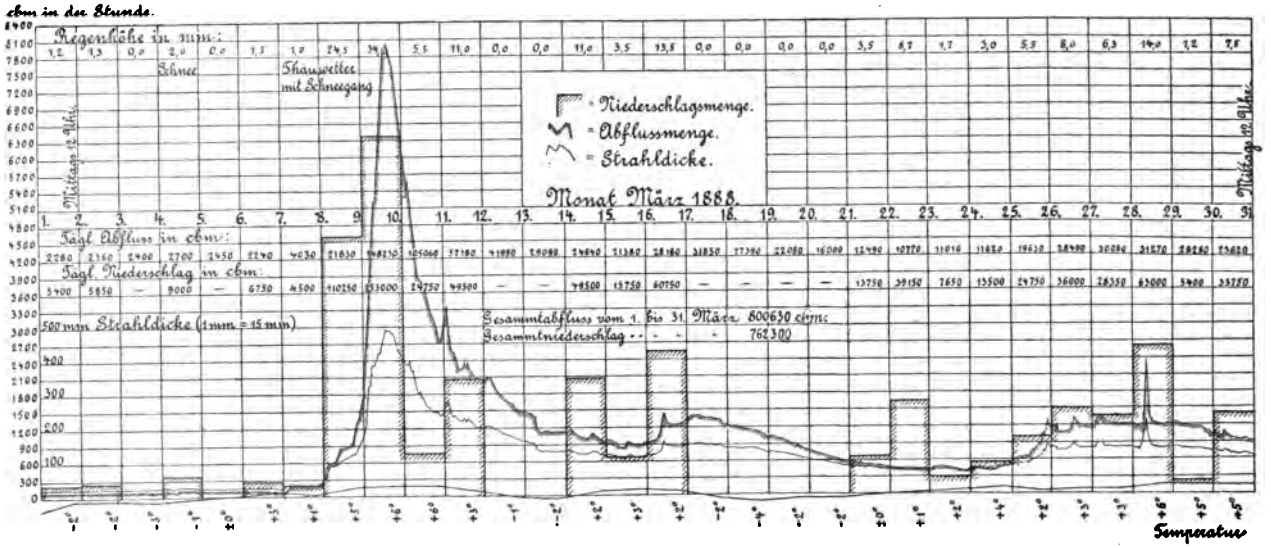
Über dieses Wehr geht die gesamte Abflußmenge des Baches mit Ausnahme des Grundwassers, das sich der Messung entzieht. Um seitliche Umströmungen zu vermeiden, empfiehlt sich ein dichter Abschluß an den beiden Uferseiten, der durch Tonpackungen und Spundwände erzielt werden kann. Nach der jeweiligen Überlaufhöhe berechnet sich dann die sekundliche Abflußmenge Q nach der Formel

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g},$$

worin:

b die Breite des Wehres,
h die Strahldicke,
$g = 9{,}81$ ist.

μ ist der Abflußkoeffizient. Vorbedingung für ein genaues Ergebnis der Messungen ist ein zutreffender Wert dieses Koeffizienten, der, wie es scheint, bei demselben Wehre kein gleichbleibender ist, sondern von der Überlaufhöhe abhängt. Dabei wird man auch beachten müssen, daß in der Entfernung von einigen Metern oberhalb des Wehres eine größere Wasserstandshöhe vorhanden ist und nach der scharfen Überlaufkante eine leichte Absenkung stattfindet. Man kann für gewöhnliche Messungen den Wert μ zu etwa 0,63 annehmen. Bei Messungen an der Wupper, bei denen die über das Wehr geflossene Wassermenge in eine nebenliegende zu diesem Zweck eigens eingerichtete Grube geleitet wurde, konnte man die Abflußmenge unmittelbar feststellen und fand durch Vergleichsrechnungen, daß die gemessene Überfallwassermenge etwa um 23 v. H. größer war als die mit $\mu = 0{,}63$ berechnete. Mit Rücksicht auf die vorhin erwähnten Sickerungen am Wehr glaubt man nach



Nach Intze, Bessere Ausnutzung der Gewässer und Wasserkräfte.

Abb. 3. **Darstellung der Messungsergebnisse der Strahldicke am Wehrüberlauf, der Niederschlags- und Abflußmengen und Temperaturen.**

diesen Beobachtungen für vollkommenen Wasserstand d. h. dort, wo kein Fließgefälle am Wehr vorhanden ist, den Koeffizienten $\mu = 0{,}78$ in die Rechnung einführen zu dürfen[1]). Bei den meist in Mauerwerk hergestellten und mit Abrundung versehenen Überfällen der Talsperren pflegt man mit $\mu = 0{,}75$ zu rechnen.

Für die Abflußmengenberechnungen wird es im allgemeinen genügen, die mittlere Strahldicke für eine Stunde in die Rechnung einzuführen und darnach die stündliche Abflußmenge zu bestimmen:

$$Q = \frac{2}{3}\mu \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}}\sqrt{2g} \cdot 3600.$$

Die Ergebnisse der Niederschlags- und Abflußmengenberechnungen werden dann graphisch übersichtlich zusammengestellt (Abb. 3).

Wo an größeren Flüssen der Einbau eines solchen Wehres nicht angängig ist und Schwimmermessungen nicht genau genug erscheinen, da wird man zu Geschwindigkeitsmessungen des fließenden Wassers mittels Flügel und elektrischem Zählapparat übergehen müssen[2]).

Wenn heute ein Tal nach seinen orographischen, Niederschlags- und geologischen Verhältnissen zur Anlage eines Sammelbeckens oder ein Wasserlauf nach seiner Gefällsgestaltung für den Ausbau eines Kraftwerkes geeignet erscheint, so entsteht eine lebhafte Frage nach dem im Tale und im Bachlaufe vorhandenen Wasserabfluß. Die Entwicklung der Dinge, der Drang nach der Verwirklichung des Gedankens überholt dann meist die vorbeschriebene stille Arbeit der Messung und des Forschers. Es darf als Tatsache bezeichnet werden, daß wohl keine der neuzeitlichen großen Wasserkraftanlagen und Talsperren im Gebirge auf Grund langjähriger Abflußmengenmessungen geplant wurde. Schätzungen und überschlägliche Ermittlungen an der Hand allgemeiner Anhaltepunkte haben meist das Fehlende ersetzen müssen. Bei ausreichendem praktischen Überblick und mit Zuhilfenahme von Abflußgesetzen, soweit sie aus unmittelbaren Beobachtungen abgeleitet werden konnten, führt dies Verfahren zu hinlänglicher Genauigkeit und wird auch für die nächste Zukunft — bis unmittelbare Messungen an allen Wasserläufen vorliegen — der gangbare Weg sein müssen. Es ist dann Sache des Ingenieurs, sich im Einzelfalle aus der Niederschlagsmenge des abgegrenzten,

1) »Die Talsperre«. 1903. Vgl. auch W. Müller, Francisturbinen. 1901 S. 108 und Hansen in der Z. d. Ver. deutsch. Ing. 1892.

2) Beschreibung u. a. Zeitschr. f. Bauw. 1903 S. 649.

für die Kraftausnutzung in Frage kommenden Gebietes die Abflußmenge zu errechnen.

Dies kann auf zweierlei Weise geschehen. Erforderlich ist aber, daß man die Niederschlagshöhen nicht nur in der Jahressumme, sondern auch in den einzelnen Monaten kennt. Von dem Niederschlag gelangt ein Teil oberirdisch zum Abfluß, ein anderer Teil geht durch Verdunstung, Versickerung und Aufsaugung des Pflanzenwuchses für die Kraftnutzung verloren. Über den offenen Abfluß an den Wassergerinnen haben sich auf Grund von Messungen in einzelnen Niederschlagsgebieten Erfahrungssätze gebildet, die innerhalb gewisser Grenzen allgemeingültige Bedeutung haben. Dabei darf man allerdings nicht außer acht lassen, daß der Wasserabfluß in kleinen Gebirgsbezirken mit steilen Abhängen und undurchlässigem Untergrunde sich wesentlich schroffer gestaltet als im Flachlande. Die Höhe über Meereslage und die Bodenbedeckung sind hierauf auch nicht ohne Einfluß. Moorflächen und natürliche Wasserbehälter im Niederschlagsgebiet wirken ausgleichend. Man wird daher die in dem einen Gebirgstale aus Messungen abgeleiteten Sätze immer nur auf ein anderes Tal mit ähnlicher Gestaltung der Oberfläche und des Untergrundes anwenden dürfen. Immerhin geben die bisher in verschiedenen Landesteilen gesammelten Messungsergebnisse für überschlägliche Berechnungen einen wertvollen Anhalt, vorbehaltlich späterer genauer Ermittlungen. Daher mag die nachstehend mitgeteilte Tabelle 1 hierfür einige Grundlage bieten. Sie ist zusammengestellt aus den Ergebnissen unmittelbarer Messungen bei neueren Talsperren- und Wasserkraftanlagen. Weiteres über die in den Niederschlagsgebieten verschiedenster Größe in deutschen Mittelgebirgen gemessenen Abflußmengen s. in Abschn. Deutschland.

Einen neuen praktisch brauchbaren Aufschluß über die Beziehung von Niederschlag und Abfluß hat Intze[1]) aus seinen zahlreichen Messungen bei Vorarbeiten zu Talsperren hergeleitet. Er fand, daß man die Jahresabflußmenge eines Gebietes erhält, wenn man die Flächengröße mit einer Abflußhöhe multipliziert, die gleich der mittleren Regenhöhe des Gebietes vermindert um 300 bis 350 mm ist. Diese letztere Zahl bezeichnet Intze als Verlusthöhe und glaubt nach seinen Wahrnehmungen schließen zu dürfen, daß diese Verlusthöhe in deutschen

1) Talsperrenanlagen in Rheinland und Westfalen, Schlesien und Böhmen. Weltausstellung St. Louis 1904.

Tabelle 1. Messungsergebnisse von

Meßstelle	Größe des Niederschlagsgebietes in Quadratkilometern	Mittlere Höhe des Gebirges üb. d. Meer in Metern	Mittlere Niederschlagshöhe jährlich in Millimetern	Mittlere Abflußmenge jährlich in Mill. cbm	Mittlerer Abfluß in Hundertsteln der Niederschlagsmenge		
					Winter (Oktober bis März)	Sommer (April bis September)	im Jahre
Eschbachtal bei Remscheid (Wuppergebiet)	4,5	300	1267	3,6	90,3	41,1 11,0[1])	67,4
					95,0	45,0	70,0
					(Mittel 1889 bis 1904)		
Sengbachtal bei Solingen (Wuppergebiet)	11,8	200	1000	8,45	96,0	46,0	71,0
Ahlfeldweiher (Vogesen) . .	5,2	850	2610	11,14	90,0 (Oktober bis Mai)	50—60 (4 Sommermonate)	8[illegible],0
Langetal bei Nordhausen (Harz)	5,7	500	600	1,89	75,0	34,0	56,0
Tal der Urft (Eifel)	375,0	300—400	890	172,0	72,0	30,0	51,0
Tal des Queis (Schlesien) . .	303,0	300—900	um 1100	229,0	Die durchschnittl. Abflußhöhe in den Jahren 1901 bis 1903 war 783 mm.		
Tal der Görlitzer Neiße (Böhmen)	103,0	400—700	900—1800	65,1	—	—	—
Harzdorfer Bach (Böhmen) .	15,9	400—800	900—1800	8,1	—	—	—
Tal der Öster (Ruhrgebiet)	13,1	360	—	10,5	—	—	—

1) Im Durchschnitt der 6 Monate Mai bis Oktober 1904. 2) Monatsmittel. Der geringste Tages-

Niederschlagshöhen und Wasserabflußmengen.

Sommerabfluß in Hundertsteln des Jahresabflusses		Gesamtjahresabflußmenge vom Quadratkilometer in Mill. cbm		Sekundl. Abfluß vom Quadratkilometer			Bemerkungen
				größter	geringster	mittlerer	
im Durchschnitt	geringster	größte	geringste	s/l			
20,0	5,0	0,970	0,607	650	0,2	25	Meßzeit 1888—96. Das Niederschlagsgebiet besteht aus geröllhalt. Lehm auf Tonschieferfels, zum Teil bewaldet.
34,0	19,0	0,862	0,630	232	2,0 (Monatl. Mittel)	23	Meßzeit 1898—1903. Die kleinste jährliche Abflußmenge ist etwa 83 v. H. der mittleren Jahresabflußmenge. — Niederschlagsgebiet beschaffen wie vor. — Der größte sekundl. Abfluß im Wuppergebiet ist zu 1 bis 1,2 cbm gemessen worden. Das Mittel beträgt 25 l, der Mindestabfluß 1 l/s/qkm (oberhalb Barmen bei etwa 210 qkm N.-G.).
22,0	14,0	2,18	2,11	1400	27 (Mittl. niedrigster Sommerabfluß Juni bis September)	68	Meßzeit 1889—91. Festgelagertes, felsiges Niederschlagsgebiet.
28,0	13,0 (Mai bis Oktober 1904)	0,33		—	—	—	N.-G.: undurchlässiger Lehm auf Fels, stark bewaldet. — Ergebnis des sehr trocknen Jahres 1904.
26,0	25,0	0,52	0,4	500	1,9[2])	12—16	Meßzeit 1901—02. Mittlere Jahresabflußmenge in längeren Jahren 180 Mill. cbm.
51,0	—	0,88	0,63	2600	5,4[3]) 0,7[4])	24	Meßzeit 1901—03. Bei dem H.-W. Juli 1897 betrug der Abfluß 96,4 v. H. der Niederschlagsmenge. — Steiler Abfall des Niederschlagsgebietes.
—	—	0,63		500	10,9[3]) 2,0[4])	20	Meßzeit 1902—03. Steil abfallende Hänge, besonders in den Seitentälern.
—	—	0,51		1260	5,0[3]) 2,5[4])	16,4	Meßzeit 1902—03.
—	—	0,88	0,74	—	1,6[3]) 0.3[4])	25,5	Meßzeit 1899—1900.

abfluß ist etwa 1 l/sec./qkm. 3) Monatsmittel. 4) Tagesmittel.

Gebirgsgegenden nur innerhalb sehr enger Grenzen schwankt. Wo wesentlich größere Verlusthöhen als 300 bis 350 mm vorhanden sind, darf man besondere Ursachen (klüftiges Gebirge) annehmen.

Zum weiteren Anhalt über die Verteilung der Niederschläge im Jahreslaufe und den Abflußvorgang in deutschen Mittelgebirgen sind in den Tab. 2 und 3 die Ergebnisse neuerer unmittelbarer Messungen an Überfallwehren im Wuppergebiet und im Harz mitgeteilt. Einen Vergleich mit dem Wasserhaushalt im Flachlande ermöglicht die Tab. 4 über die Regen- und Abflußmengen in einigen Fluß- und Seengebieten Ostpreußens.

Tabelle 2. Messungen der Regenhöhen und Abflußmengen im Sengbachtale (Wuppergebiet) während der Jahre 1898 bis 1903.

Größe des Niederschlagsgebietes: 11,8 qkm.

Jahr und Monat	Regenhöhe mm	Niederschlagsmenge cbm	Abflußmenge cbm	Jahr und Monat	Regenhöhe mm	Niederschlagsmenge cbm	Abflußmenge cbm
1898				**1900**			
Januar. . .	—	—	558 056	Januar. . .	165,5	1 953 754	2 174 891
Februar. . .	100,4	1 184 720	2 193 781	Februar. . .	71,0	814 920	1 086 589
März	67,9	801 220	1 660 955	März	20,2	237 180	396 468
April	57,4	677 320	562 005	April	54,2	638 420	383 644
Mai	151,9	1 787 538	1 264 064	Mai	62,2	723 960	295 394
Juni	63,4	748 120	278 815	Juni	99,8	1 182 640	104 996
Juli	132,0	1 457 660	307 079	Juli	117,8	1 383 040	632 563
August . . .	77,4	916 120	340 089	August . . .	112,8	1 329 340	351 666
September .	24,1	656 080	87 677	September .	23,3	276 940	128 326
Oktober . .	65,8	777 476	113 572	Oktober . .	80,5	949 840	201 804
November .	32,8	387 040	118 812	November .	54,6	644 300	586 559
Dezember. .	114,0	1 310 180	1 106 245	Dezember .	119,2	1 413 420	1 172 763
Zusammen			8 591 150	Zusammen	981,1	11 547 754	7 515 663
1899				**1901**			
Januar. . . .	132,4	1 552 320	1 759 733	Januar. . . .	58,2	677 202	794 605
Februar. . .	38,0	448 400	467 952	Februar. . .	49,0	575 000	554 766
März	67,3	794 580	463 423	März	104,3	1 330 740	1 862 409
April	164,5	1 952 200	1 629 288	April	90,8	1 071 800	1 041 822
Mai	107,1	1 143 780	771 326	Mai	29,5	368 100	187 248
Juni	65,0	767 000	286 180	Juni	47,3	558 140	111 857
Juli	109,9	1 296 820	864 045	Juli	21,5	254 880	63 047
August . . .	19,7	222 440	102 452	August . . .	102,5	1 209 736	64 196
September .	143,5	1 694 208	168 541	September .	111,3	1 323 340	99 877
Oktober . .	39,7	468 814	213 984	Oktober . .	125,5	1 480 900	748 133
November .	48,7	585 280	198 290	November .	144,5	1 702 886	1 476 456
Dezember .	64,6	782 280	507 101	Dezember. .	127,2	1 497 020	1 331 944
Zusammen	1000,4	11 708 122	7 432 315	Zusammen	1011,6	12 049 744	8 336 360

Jahr und Monat	Regenhöhe mm	Niederschlagsmenge cbm	Abflußmenge cbm	Jahr und Monat	Regenhöhe mm	Niederschlagsmenge cbm	Abflußmenge cbm
1902				**1903**			
Januar. . . .	78,8	929 610	1 405 097	Januar. . . .	89,7	1 077 240	1 181 517
Februar. . .	44,8	528 640	593 267	Februar. . .	53,9	646 800	973 928
März	79,5	954 960	895 401	März	53,2	638 520	723 388
April	52,8	633 960	382 525	April	113,6	1 363 200	1 298 419
Mai	112,2	1 347 360	754 885	Mai	68,8	825 600	702 173
Juni	131,8	1 581 600	717 321	Juni	56,4	676 800	188 108
Juli	79,1	949 680	179 511	Juli	154,8	1 857 840	412 493
August . . .	95,1	1 141 200	314 403	August . . .	110,7	1 328 400	938 069
September .	36,6	439 200	655 610	September .	98,6	1 183 800	562 229
Oktober . .	107,6	1 291 200	806 486	Oktober . .	114,9	1 378 800	1 021 564
November .	32,4	388 800	454 623	November .	124,4	1 493 760	1 336 716
Dezember .	113,0	1 356 000	1 525 372	Dezember. .	23,8	285 600	833 147
Zusammen	963,7	11 542 210	8 684 501	Zusammen	1062,8	12 756 360	10 171 751

Nach vorstehenden Zahlen ergibt sich aus der sechsjährigen Beobachtungszeit 1898—1903 eine mittlere Regenhöhe von 1000 mm und eine Jahresabflußmenge von 8,45 Mill. cbm. Die durchschnittliche Abflußhöhe im Jahre betrug 710 mm; von der jährlichen Regenhöhe entfallen somit 1000—710 = 290 mm auf Verdunstung und Versickerung. Auf die Fläche als Einheit bezogen war der Jahresabfluß im Durchschnitt 710000 cbm/qkm des Niederschlagsgebietes, im trockensten Jahre (1899) 630000 cbm, im nassen Jahre (1903) 862000 cbm. Die geringste monatliche Abflußmenge von 1 qkm betrug 5340 cbm (Juli 1901) und die größte im Februar 1898 186000 cbm. Daraus berechnet sich für die trockenste Zeit im Monatsdurchschnitt ein sekundlicher Abfluß von 2 l/qkm und im nassesten Monat 72 l/qkm, während das Mittel der ganzen Beobachtungszeit 23 l/qkm beträgt. Die geringste bisherige Abflußmenge in 24 Stunden betrug 2000 cbm, die größte 211000 cbm vom ganzen Niederschlagsgebiet.

Bemerkenswert ist die Erscheinung, daß fast in sämtlichen Beobachtungsjahren die Abflußmenge in den Monaten Januar, Februar und März die Niederschlagsmenge übersteigt. Es zeigt sich hier ein natürlicher Ausgleich im Wasserhaushalte, den der im Vorwinter fallende und gegen Frühjahr hin zum Schmelzen gelangende Schnee herbeiführt.

Tabelle 3. Niederschlagshöhen und Abflußmengen im Langen Tale bei Nordhausen (Harz).

Größe des Niederschlagsgebietes: 5,7 qkm.

Abflußjahr 1903/04 Monat	Niederschlagshöhen im Langen Tale bei rund 400 m Meereshöhe mm	Abflußmengen in Tausenden cbm	Abflußmengen in Hundertsteln	Bemerkungen
Oktober . . .	78,8	137,2	130,5	Der Sommer 1904 zeichnete sich durch ungewöhnliche, lang andauernde Trockenheit aus.
November . .	59,8	284,4	52,6	
Dezember . .	11,5	226,8	345,9	
Januar	38,3	134,8	61,7	
Februar . . .	94,2	289,6	12,2	
März	29,7	260,6	153,9	Das Niederschlagsgebiet ist stark bewaldet.
April	39,5	337,6	149,9	
Mai	72,7	104,2	25,1	
Juni	60,9	61,0	17,5	
Juli	25,9	17,1	11,6	
August	27,7	7,6	4,8	
September . .	57,7	25,5	7,8	
Abflußjahr 1903/04	596,7	1886,4		

Es war somit im Abflußjahr 1903/04

die Jahresniederschlagshöhe	596,7 mm
die Jahresniederschlagsmenge	3401000 cbm
die Jahresabflußmenge	1886400 cbm
der Abflußkoeffizient	0,56.

Ausgleich des Wasserabflusses.

Wenn zwar in dem nicht schiffbaren Mittellaufe der Flüsse noch Wasserkräfte in einer Größe, die für die praktische Ausnutzung Bedeutung hat, gewonnen werden können und wenn im Hochgebirge die kleinen Bäche durch das Schmelzwasser eine ziemlich gleichmäßige Wasserführung haben, so fehlen diese günstigen Umstände im Mittelgebirge, in der Zone der »Grünen Kohle«. Hier kann nur Abhilfe durch künstlichen Ausgleich geschaffen werden. Nur wenige Bezirke in allen Ländern finden sich, wo natürliche Seen vorhanden sind. Die Schweiz, Amerika, Norwegen und Schweden sind mit einer Seenplatte bedeckt, die den Abflußvorgang gleichmäßiger gestalten; auch die ost- und westpreußischen und pommerschen Seen sind hier zu erwähnen. Der Einfluß solcher Behälter kann bisweilen mit geringen Mitteln durch künstliche

Tabelle 4. Ergebnisse der Berechnungen aus den Beobachtungen und Messungen der Regen- und Abflußmengen in einzelnen Fluß- und Seengebieten Ostpreußens[1]).

Nr.	Bezeichnung des Gebietes	Größe des Niederschlagsgebietes in qkm	Zugehörige Seenflächen in qkm	Prozentsatz der Seenflächen zum Niederschlagsgebiet	Jahre, in denen beobachtet, bzw. gemessen ist.	Mittlere Regenhöhe im Jahre mm	Mittlere Abflußhöhe im Jahre mm	Prozentsatz des Abflusses vom Niederschlag	Wassermenge in Sekunden-Litern auf 1 qkm Niederschlagsgebiet				Bemerkungen
									bei kleinstem Wasser	bei mittlerem Niedrigwasser	im Mittel des Jahres	bei Hochwasser	
1	Gebiet der oberen Alle bis zur Ustrich-Schleuse	430,6	35,2	8,2	In 3 Jahren, von 1887 bis 1889	646	275	43	—	3,7	8,8	37,0	Die größte Hochflut.
2	Gebiet der oberländischen Seen	648,0	64,0	9,9	In 3 Jahren, von 1887 bis 1889	673	188	28	—	—	6,0	—	
3	Gebiet der oberen Alle bis zur Ustrich-Schleuse	430,6	35,2	8,2	In 10 Jahren, von 1882 bis 1891	?	221	?	2,9	3,7	7,0	37,0	
4	Gebiet der unteren Alle bis Friedland .	5254,0	169,9	3,2	In 2 Jahren, 1887 und 1888	636	181	32	1,7	3,0	5,8	90,0	Die größte Hochflut (1888) und trockenes Jahr (1887).
5	Gebiet d. masurischen Seen von Angerburg bis Johannisburg . .	3378,0	500,0	14,8	In 3 Jahren, von 1887 bis 1889	594	185	31	3,3	4,0	6,0	12,5	Die größte Hochflut (1889) und größte Trockenheit (1887).
6	Oberes Gebiet der Passarge bis Groß-Gemmern	570,0	24,0	4,2	In 2 Jahren, 1889 und 1890	694 ?	350	50	3,5	3,9	7,3	37,2	Nachwirkung der Hochflut von 1888.
7	Gebiet d. Memelstromes bis Kallwehlen	79600,0	?	?	In 2 Jahren, 1887 und 1890	580 (Im preußischen Teile)	205	35	2,93	—	6,5	21,2	Keine besondere Hochflut. Diese zwei Jahre wurden gewählt, da Hochfluten nicht gemessen worden sind.

1) Nach Intze, Die Wasserverhältnisse Ostpreußens.

Aufstauung erhöht werden. Meist wird man aber zur Anlage von Sammelbecken schreiten müssen.

Es ist die Aufgabe der Sammelbecken, einen über das Jahr ganz oder doch annähernd gleichmäßigen Abfluß zu ermöglichen. Aber man tut gut noch weiterzugehen, denn die Erfahrung hat gelehrt, daß es wünschenswert ist, den Ausgleich nicht nur im Jahreslaufe zu erstreben, sondern, wo es mit wirtschaftlichen Mitteln angeht, die Stauräume so groß zu bemessen, daß der Wasserreichtum des einen Jahres in das nächste und selbst in das zweite Jahr hinüber aufgespeichert werden kann. Es ist bemerkenswert, daß Intze — auf diesem Gebiet an Erfahrung so reich — bei einem seiner letzten Pläne, der Neyetalsperre, den Stauinhalt auf 65 v. H. der Jahresabflußmenge bemessen hat, ein Satz, der gegenüber der sonst üblichen Annahme von 30 bis 40 v. H. hoch erscheint[1]).

Die genaue Größenbestimmung der Becken wird stets unter Anhalt an die gegebenen Verhältnisse zu erfolgen haben. Das geschieht übersichtlich auf zeichnerischem Wege. In einem solchen Wasserwirtschaftsplane sind die drei Größen von ausschlaggebender Bedeutung: die täglichen Zuflußmengen, die tägliche Entnahme einschließlich der Verluste durch Verdunsten und Versickern und der Stauinhalt des Beckens. Indem man letztere zunächst schätzt, wird man auf dem Wege des Versuchs zum Ziele gelangen, d. h. zur Erkenntnis, wieviel Kraft geleistet werden kann. Bei allem aber wird man sich vergegenwärtigen müssen, daß etwa $^1/_3$ und weniger des Gesamtjahresabflusses auf den Sommer und $^2/_3$ und mehr auf den Winter entfallen. Ist der Beckenstauraum nicht sehr reichlich bemessen, so wird man im Winter eine größere Kraftausnutzung erzielen können und dementsprechend die Maschinenstärke einrichten. Diese natürliche Verteilung des Wasserabflusses fällt im allgemeinen zeitlich mit dem größeren Kraftbedarf der Elektrizitätswerke im Winter günstig zusammen (s. Abb. 58).

Tritt bei den Vorermittelungen für eine Wasserkraftanlage die Frage auf, wie groß die Ergänzung in trockner Zeit, sei es durch Zuschußwasser aus einem Sammelbecken oder durch eine Wärmekraftanlage geschaffen werden muß, um eine über das Jahr gleichmäßige mittlere Kraftleistung zu erzielen, so muß man den Umfang und die Zeitdauer des Wassermangels eines Jahres oder einer größeren Trockenperiode kennen. Als Unterlage

1) Weitere Angaben hierüber Zeitschr. für Bauwesen 1904 S. 302.

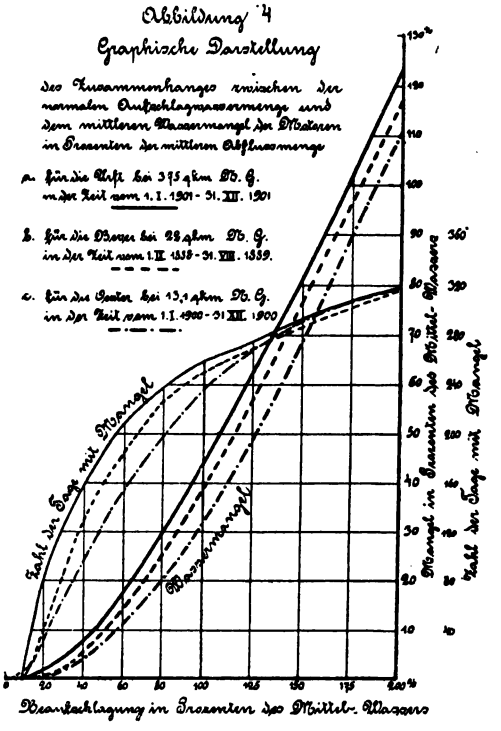
hierfür dient wiederum die vorherige Messung der täglich wechselnden Wasserabflußmengen, die leicht erkennen läßt, um wieviel an einzelnen Tagen oder in ganzen Trockenzeiten die abfließende Wassermenge hinter der Jahresmittelwassermenge — auf den sekundlichen Durchschnitt berechnet — zurückbleibt. Einen allgemeinen Anhalt für vorläufige Ermittelungen werden die Ergebnisse der ausgedehnten Intzeschen Untersuchungen bieten, wenn man dabei die in der Tab. 1 angedeuteten örtlichen Verhältnisse dieser dem Mittelgebirge angehörenden Niederschlagsgebiete beachtet. Intze fand, daß für die Gebrauchswassermenge, die der mittleren sekundlichen oder täglichen Abflußmenge während eines Jahres entspricht (100 v. H.), der Mangel des ganzen Jahres inbezug auf das Mittelwasser des jeweiligen Jahres gerechnet, betrug:

1. Für die Urft unterhalb Gemünd (Eifel)	im Jahre 1901	43,7	v. H.
	für das Jahr 1902	31,1	» »
2. Für das Östertal (Ruhrgebiet)	» » » 1899	41,8	» »
	» » » 1900	31,9	» »
3. Für den Harzdorfer Bach bei Reichenberg (Böhmen)			
im Jahre vom 1. Mai 1902 bis 30. April 1903		30,7	» »
4. Für die Görlitzer Neiße bei Röchlitz			
im Jahre vom 1. Mai 1902 bis 30. April 1903		21,5	» »
5. Für den Queis bei Marklissa (Schlesien)			
im Jahre vom 1. April 1901 bis 31. März 1902		36,8	» »
» » » 1. » 1902 » 31. » 1903		34,3	» »
6. Für die Ruhr bei Mülheim	im Jahre 1902	33,8	» »
7. Für das Bevertal bei Wipperfürth (Wupper)			
im Jahre vom 1. September 1888 bis 31. August 1889		39,35	» »

Es zeigte sich dabei, daß in den meisten Jahren und in den meisten Niederschlagsgebieten der Wassermangel, der in einer Trockenperiode von mehreren Monaten eintritt, wesentlich kleiner ist, als derjenige für das ganze Jahr. So war z. B. für das ganze Jahr 1901 an der Urft der Wassermangel in der Trockenperiode von 156 Tagen nur 31,8 v. H. der mittleren Abflußmenge, während im Jahre 1902 in der Trockenperiode von 197 Tagen dieser Mangel auf 30,1 v. H. sank.

Wenn also beispielsweise für eine Kraftanlage am Urftflusse der Mangel im Jahre 1901 43,7 v. H. betrug, so heißt das, es hätten 43,7 v. H. der Jahresabflußmenge als Kraftwasser oder die einem Produkt aus dieser Wassermenge und dem Gefälle des Werkes entsprechende Wärmekraft zugeschossen werden müssen, um ständig die mittlere Jahresleistung zu halten. Diese 43,7 v. H. Kraftwasser müssen dem Überschuß zu Hochwasserzeiten entnommen werden. Maßgebend für die notwendige Größe

des Aufspeicherungsraumes werden im allgemeinen die oben angegebenen geringeren Prozentsätze von 31,8 und 30,1 einer langen sommerlichen Trockenperiode sein. So berechnet sich z. B. der Wassermangel in der Trockenperiode des sehr niederschlagsreichen Jahres 1901 zu 195,8 · 0,318 = 62,3 Mill. cbm und in der Trockenperiode des Jahres 1902 zu 148,2 · 0,301 = 44,5 Mill. cbm[1]).



Diese Beziehungen lassen sich in sehr übersichtlicher Weise zeichnerisch darstellen (Abb. 4)[2]).

Für die Größenbemessung von Sammelbecken interessieren in erster Linie die geringsten Abflußmengen während einer langen Trockenzeit. Von Bedeutung ist deshalb das Ergebnis der Messungen an der Remscheider Stauweiheranlage in dem außerordentlich trockenen Sommer 1904. Aus der nachstehenden Tabelle 5 geht hervor, wie gering der sommerliche Abfluß war, der im September auf 1,7 v. H. herabging, trotz der nicht unwesentlichen Niederschläge. Während in den sechs Monaten Mai bis Oktober die Regenmenge in dem 4,5 qkm großen Gebiet 1 381 500 cbm betrug, sind nur 152 160 cbm = 11 v. H. zum Abfluß gelangt. Hiervon sind nach dem Bericht von Borchardt 117 700 cbm im Becken verdunstet, so daß nur rund 34 000 cbm tatsächlich nutzbar wurden. Dieser geringe Abfluß tritt ganz zurück gegenüber dem gesamten Jahresabfluß und würde bei einer sicheren Rechnung gleich Null

1) Intze, Über die Wasserkraftverhältnisse im Gebirge. Z. f. Arch. u. Ing.-Wes. 1899. — Ders., Talsperrenanlagen, Weltausst. St. Louis 1904.

2) Nach Intze, Talsperrenanlagen. 1904.

angenommen werden müssen. Das heißt, der Beckeninhalt muß so groß bemessen werden, daß man damit die Wasserabgabe während der sechs Monate sommerlicher Trockenheit decken kann, ohne Zuschußwasser zu erhalten. Allerdings ist der Untergrund des Remscheider Gebietes sehr undurchlässig. Es ist fester Lehm- und Tonboden, das Verwitterungsprodukt des Schiefergesteins. Das deutet der große Abfluß im Winter an, der bis 95 v. H. steigt. Es findet somit im Winter keine nachhaltige Speisung des Untergrundes statt. Grundwasser ist im Sommer fast gar nicht vorhanden. Die Quellen versiegen, und der sommerliche Niederschlag verdunstet und wird von dem Pflanzenwuchs aufgezehrt. Aber doch ist das Remscheider Ergebnis für ähnliche Verhältnisse bemerkenswert.

Tabelle 5. Abflußmengenmessungen an der Remscheider Talsperre im Jahre 1904.

Größe des Niederschlagsgebietes: 4,5 qkm.

Jahr 1904	Gefallene Niederschläge in cbm	Im Stauweiher aufgefangene Wassermengen in cbm	Verhältnis der Abflußmengen zu den Niederschlägen in Hundertsteln	Bemerkungen
Januar	373 500	307 640	82,4	
Februar . . .	755 100	791 740	104,9	
März	409 950	248 150	60,5	
April	276 300	335 020	121,3	
Mai	186 750	79 630	42,6	11 v. H. im Durchschnitt dieser sechs Monate.
Juni	311 400	31 120	10,0	
Juli	186 300	9 480	5,1	
August	164 250	4 410	2,7	
September. .	159 300	2 770	1,7	
Oktober . . .	373 500	24 750	6,6	
November. .	651 600	262 340	40,3	

Es soll hier auf die weitgreifende Talsperrenfrage und die Verwertung der Sammelbecken für die Wasserkraftnutzung nicht näher eingegangen werden. Dieser Gegenstand ist vom Verfasser eingehend behandelt worden in der Schrift: Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft[1]), und es sei gestattet, auf jene Ausführungen Bezug zu nehmen. Es ist in dieser Abhandlung die Frage untersucht worden, ob es möglich sein würde, dem Talsperrenbau in Deutschland eine allgemeine

1) Berlin 1902.

Ausdehnung zu geben und ihn zu einem wesentlichen Faktor der deutschen Wasserwirtschaft für die Zwecke des Hochwasserschutzes, der Kraftgewinnung, der landwirtschaftlichen Bewässerung und der Schifffahrt zu machen.

Betriebswassermenge.

Nachdem der Wasserhaushalt eines Flusses oder Baches im ganzen wie in dem Wechsel der Jahreszeiten bekannt geworden ist, tritt die Frage heran, für eine wie große Wassermenge das Kraftwerk aufnahmefähig zu machen ist. Vom kaufmännischen Standpunkt hat der Abfluß die Bedeutung, daß er die Kosten der baulichen Anlagen, die wirtschaftlich verwertbare Kraftleistung und den Umfang einer etwaigen ergänzenden Dampfanlage festlegt.

Im allgemeinen wird es nicht nötig sein, die allergeringste Wasserführung als die ununterbrochen nutzbare Kraft anzunehmen. Man hält in Amerika dafür, daß es ausreicht, ein praktisches Mindestmaß des Abflusses festzulegen, das etwa in je 10 oder 11 Jahren erwartet werden kann. Der geringste Abfluß, der etwa alle 20 Jahre eintreten mag, sollte nicht dafür angesehen werden, daß er den Wert des Wasserlaufes als Krafterzeuger wesentlich vermindert[1]). v. Miller nimmt für die Berechnung der Wasserkräfte am Nordabhange der Alpen einen mittleren Abfluß an, der mindestens neun Monate im Jahr zur Verfügung steht, wobei er allerdings die Ergänzung durch Wärmemaschinen für manche Zwecke voraussetzt[2]).

Aus den eingehenden Untersuchungen Intzes über die Wasserverhältnisse im Wupper- und Ruhrtal geht hervor, daß dort die Wassertriebwerke i. M. nur auf eine Ausbeute von 40 v. H. der Mittelwassermenge eingerichtet sind. Es ist dies in dem ungleichen Wasserabfluß begründet, der dort vor Erbauung der Talsperren in trockener Zeit bis auf 5 v. H. des Mittelwassers gesunken ist. Es ist anzunehmen, daß die Triebwerke in langjährigen Erfahrungen zu diesem Satz gekommen sind, und es stellt sich darin gleichsam eine Gleichgewichtslage dar: Auf der einen Seite der Vorteil, den eine stärkere Kraftausnutzung mit einer größeren Maschinenanlage in wasserreicher Zeit bringen würde, — auf der anderen Seite der Verlust aus brachliegendem Kapital in trockenen

1) Hydraulic Developm. Journ. of West. Soc. of Civ. Eng. 1903.
2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1903 S. 1002.

Monaten. Wenn Q die Jahresabflußmenge ist, so würde sich demnach für einen 24stündigen Betrieb an 365 Tagen die im Kraftwerke nutzbare Wassermenge auf $\frac{Q \cdot 0{,}4}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}$ stellen. In einem durch Sammelbecken in seinem Abfluß regulierten Fluß wird diese Sachlage eine günstigere sein, und man wird dort bei genügend großem Stauraum mit einer gleichbleibenden Mittelwasserkraftmenge rechnen können.

An den unteren Flußläufen mit reichlicher Wasserführung sind in erster Linie die Forderungen der Schiffahrt maßgebend. Die frühere Ausnutzung mit schwimmenden Schiffsmühlen hat hier dem gesteigerten Verkehr weichen müssen. Neuerdings tritt jedoch die Frage der Kraftausnutzung an den kanalisierten Flüssen wieder mehr in den Vordergrund. Der Bedarf der Schiffahrt für die Schleusungen beträgt nur wenige Kubikmeter und tritt gegenüber dem natürlichen Wasservorrat der Flüsse stark zurück. Prüsmann[1]) rechnet bei dem regen Schiffsverkehr auf dem Main auf die Schiffahrt nur 20 cbm/sek., während an fast 300 Tagen im Jahr der Fluß mehr als 100 cbm/sek. führt. Die aussichtsvolle Aufgabe der Kraftausnutzung an den kanalisierten Wasserläufen wird weiterhin näher erörtert werden. Aber auch an den offenen Flüssen mit starkem Gefälle, die aus diesem Grunde unbedeutende Schiffahrt haben, sind in neuester Zeit Kraftanlagen entstanden oder geplant, und es mag die Wassermenge interessieren, die man hier dem Strome entzogen hat. Bei Straßburg besteht ein Kraftwerk am rechten Rheinufer in einem seitlichen Arm am oberen Ende des Hafens bei Kehl, das bei vollem Betriebe etwa 50 cbm/sek. verarbeitet. Die geringste Wasserführung des Rheins beträgt hier etwa 300 cbm/sek. In Rheinfelden, 20 km oberhalb Basel, führt der Rhein bei niedrigstem Wasser 290 cbm/sek. Schiffahrt findet hier nicht mehr statt, und man hat deshalb als zulässig erachtet 240 cbm für Kraftzwecke zu verbrauchen, während mindestens 50 cbm für die Flößerei im Rheine verbleiben müssen. Die Verhältnisse am Rhein oberhalb Straßburg hinauf bis zum Bodensee sind außerordentlich eigenartig, weil die Bestrebungen der Schiffahrt und der Kraftverwertung in starkem Wettbewerb stehen, der in künftigen Jahrzehnten voraussichtlich noch mehr hervortreten wird.

Wesentlich für die Stärke einer Wasserkraft ist die Betriebszeit

1) Ausnutzung der Wasserkräfte an Wehren kanalisierter Flüsse.

des Werkes. Im offenen Gewässer findet der Abfluß Tag und Nacht statt. Der Kraftbedarf ist jedoch meist nur am Tage während 10 bis 12 Stunden vorhanden. Ist es also möglich, den Wasserabfluß von 24 Stunden auf eine 10stündige Betriebszeit zu vereinigen, so steht in diesen Stunden der Arbeit eine Kraft zur Verfügung gleich dem 2,4 fachen der Durchschnittsleistung und, wenn man bedenkt, daß Sonntags meist nicht gearbeitet wird, so erhöht sich dieser Satz auf das 2,8 fache an 6 Tagen der Woche[1]). Fischer-Rainau berechnet die an Iller, Lech, Isar, Inn, Alz und Salzach gewinnbaren Wasserkräfte zu rund 110000 PS. während 24 Stunden täglich, wohingegen er die angenäherte höchste Tagesleistung der Zentralen zu 240000 PS. schätzt. Das Verhältnis der mittleren zur Höchstleistung ist also 1 : 2,2[2]). Diese Überlegung hat bei den Wasserkraftwerken zur Anlage kleiner Weiher geführt, teils um den Abfluß von Tag und Nacht zu regeln, teils um den Überfluß wenig belasteter Tagesstunden für die Spitzen des Kraftverbrauchs — bei Lichtwerken am Abend — aufzuspeichern. Solche Ausgleichweiher finden sich z. B. an der durch Talsperren regulierten Wupper. Diese kleinen Stauräume von 30000 bis 72000 cbm Fassungsvermögen haben den Zweck, das aus den Sammelbecken über Tag abgelassene Wasser auf den Zwischenstrecken, durch die es über Nacht und ungenützt durch die Feiarche abfließen würde, aufzusammeln. Sie werden entsprechend der Fließgeschwindigkeit in solchen Entfernungen angelegt, daß sie für die unterhalb gelegenen Werke den Tag- und Nachtabfluß ausgleichen. Nach ähnlichem Gesichtspunkt ist ein solches Becken für den täglichen Ausgleich eines einzelnen zentralen Werkes zu bemessen, während naturgemäß bei einem Kraftwerke, das aus einem großen Stauweiher gespeist wird, sich wechselnde Kraftleistung ohne weiteres ermöglichen läßt.

Das Elektrizitätswerk Gersthofen am Lech hat einen Stauweiher von 250000 cbm nutzbaren Raum, der es ermöglicht, zur normalen Tagesleistung von 6000 PS. in den Abendstunden bei lebhafterem Lichtbedarf noch 6000 PS. aus dem am Tage aufgestauten Vorrat zu leisten. Ähnlichen Zweck verfolgen die kleinen Becken der Edisongesellschaft zu Los Angeles (Kalifornien)[3]), sowie das Aufspeicherungsbecken von 150 ha Fläche des Kraftwerkes von Jonage (Rhone), das dazu dient das Wasser

1) The value of water powers. Eng. Rec. 1904 S. 694.

2) Deutsche Bauzeitung 1905. Erörterungen über diese Frage s. auch »Beiträge zur Hydrographie des Großh. Baden«. Zwölftes Heft. 1906.

3) Eng. Rec. v. 11. 3. 1905.

in der Zeit, in der die Turbinenanlage außer Betrieb ist — 12 Uhr nachts bis 5 Uhr morgens — aufzusammeln.

Wie durch Wasseraufsammlung kann man diesen Ausgleich auch durch Akkumulierung des elektrischen Stromes erreichen. Allerdings ist hiermit ein nicht unbedeutender Kraftverlust von 20 bis 25 v. H. verbunden. Bei Werken mit starkem Wechsel des Kraftverbrauchs werden diese Akkumulatoren eingeschaltet nicht nur aus dem Grunde der zeitlichen Verteilung der Kraft, sondern auch um eine gleichmäßigere Wirkung in den Arbeitsmaschinen zu erzielen, da bei plötzlichem Anlassen leicht Stöße entstehen.

Welche Art des Ausgleichs — Stauweiher oder Akkumulatoren — bei einem einzelnen Zentralwerk vorteilhafter ist, wird im gegebenen Falle die Untersuchung der Kosten und Betriebsergebnisse ausweisen. Bemerkenswert ist, daß bei dem Elektrizitätswerk Aarburg auf ein dem Kraftwerk nahe gelegenen Hügel ein Hochbehälter gebaut ist, in den während der Nachtstunden Wasser gehoben wird, um als Kraftaushilfe während stark belasteter Tagesstunden zu dienen. Diese Art soll günstigere Betriebsergebnisse liefern als eine vorher benutzte Akkumulatorenbatterie. Auch bei der geplanten Erweiterung der Elektrizitätswerke der Stadt Schaffhausen wird beabsichtigt, die in den Nachtstunden sonst unbenutzte Wasserkraft zu verwenden, um mittelst Hochdruck-Kreiselpumpen das Wasser des Rheines nach einem Hochbehälter (28000 cbm Inhalt) zu heben, der 135 m über den Kraftwerken liegt. Dieser Druckwasservorrat soll dann in zwei Hochdruckturbinen von je 500 PS. ausgenutzt werden, die die übrige Maschinenleistung zu Zeiten des stärksten Strombedarfs ergänzen.

Ein großes Hindernis für die systematische Ausnutzung des gleichmäßig abfließenden Wassers ist an unseren Gebirgsbächen der ungleichartige Ausbau der Triebwerksmotoren. Ein den Bach herabkommendes Wasser reicht an dem einen Werke nicht aus für die volle Beaufschlagung der Turbinen, während an anderer Stelle die Motore nicht aufnahmefähig genug sind und das überschüssige Wasser ungenützt ablaufen lassen. Intze fand, daß z. B. an der Wupper die zweckmäßig verbrauchten Aufschlagmengen der Triebwerke von 655 bis 6120 s/l schwankten. Daraus erklärt sich naturgemäß das ungleiche Interesse, das die einzelnen Werke an dem Wasserablauf aus den Sammelbecken haben. Die großen Werke wollen in trockener Zeit möglichst

viel aus den Becken abgelassen wissen, den kleinen ist mit einem sparsamen Wasserhaushalt gedient. Und praktische Ergebnisse des Talsperrenbetriebes haben als Folge aus diesem Widerstreit der Interessen erkennen lassen, daß ein vorzeitiges Leerlaufen der Becken eintritt, wenn die Forderungen der Großen das Übergewicht haben. Aber es entstehen noch andere Störungen am Bachlaufe selbst. Die großen Werke bemühen sich in Stunden, in denen sie nicht arbeiten, z. B. über Mittag, das Wasser hinter ihren Wehren aufzustauen zum ausgiebigeren Gebrauch in der späteren Arbeitszeit. Durch solches Verfahren wird nun zunächst dem Unterlieger die Betriebskraft für eine gewisse Zeit entzogen, dann aber, wenn der Oberlieger wieder mit voller Kraft einsetzt, so strömt mehr Wasser ab, als das untere Werk gebrauchen kann. Es muß den Überschuß ungenutzt laufen lassen. Dadurch entstehen mancherlei Reibungen zwischen den Nachbaren und polizeiliche oder Betriebs-Verordnungen führen hier meist unvollkommen zum Ziel.

Eine durchgreifende Hilfe wird hier nur erzielt werden können dadurch, daß die sämtlichen Werke eines Triebbaches auf die gleiche Aufnahmefähigkeit der Motore gebracht werden. Es mag ein solcher Normalisierungsplan gegenüber den heute obwaltenden Verhältnissen als ein weitgreifendes und gewagtes Unternehmen erscheinen. Aber doch darf er als das Ziel einer wirtschaftlicheren Gestaltung der Wasserkraftverwertung an den Triebbächen bezeichnet werden.

Allerdings sind die Werke meist in privatem Besitz. Ein Zwang zum Ausbau einer Maschinenanlage nach bestimmter Art kann nicht wohl ausgeübt werden, und ein einheitliches Vorgehen könnte nur angebahnt werden, wenn die Werke in eine Hand kämen, sei dies eine Genossenschaft, der Staat oder sonst ein Verwaltungskörper, oder wenn die Besitzer als Mitglieder einer Genossenschaft gehalten wären, bei Um- und Neubauten entsprechende Vorschriften zu befolgen. Eine solche Vereinigung könnte weiterhin auch zu dem Ziele einer einheitlichen Regelung der Betriebszeit in den Werken führen. Die vorerwähnte Aushilfe mit den Ausgleichweihern, die entlang am Bache verteilt sind, ist nur eine unvollkommene, und als die naturgemäße Betriebszeit muß die über Tag und Nacht ununterbrochene Arbeitszeit angesehen werden. Und es scheint, daß, selbst wenn in einzelnen Werken der ganzen Bachstrecke der ununterbrochene Betrieb nicht angängig ist, für diese die elektrische Akkumulierung in Frage kommen kann.

B. Das Gefälle.

Es ist der Zug der neueren Zeit, hohe Pressungen für die Kraftgewinnung zu verwerten, und es scheint, daß gerade dieser Gesichtspunkt berufen ist, in der Wasserkraftnutzung noch eine erhöhte Bedeutung zu erlangen. Denn bei geringer Wassermenge kann mit einer großen Gefällhöhe immerhin noch eine Leistung erzielt werden, die für den wirtschaftlich praktischen Gebrauch ins Gewicht fällt. Es ist, wie schon oben bemerkt, das größte bisher genutzte Gefälle das der Kraftanlage von Vouvry in der Nähe des Genfer Sees mit 950 m, während in den Niederdruckwerken die Ausnutzung bis auf 0,5 m heruntergeht. In Deutschland sind so hohe Gefälle, die auch nur annähernd an das von Vouvry heranreichten, bisher nicht gefaßt worden. Das größte hier nutzbar gemachte Gefälle besitzt, soviel bekannt, das Kraftwerk der Stadt Nordhausen a. H., wo von der Talsperre bis zu den Turbinen ein Höchstdruck von 192 m zur Verfügung steht[1]).

Die Gewinnung von Gefällhöhen kann auf folgende Arten geschehen:

1. Durch Zusammenfassung des Talgefälles
   a) in Triebwerkkanälen,
   b) in Stollen, oder
   c) in geschlossenen Rohrleitungen, oder
   d) in der Vereinigung dieser Mittel.
2. Durch Aufstauung in den Sammelbecken.

Triebwerkkanäle und Stollen.

Bei der Aufstauung durch Wehre — die älteste und allgemeinste Schaffung von Nutzgefälle — handelt es sich meist nur um wenige Meter Höhe (Abb. 5). In neuester Zeit ist jedoch dieser Flußstau in stärkerem Maße zur Geltung gekommen bei einigen Ausführungen in Amerika, in der Schweiz und in Frankreich. Dort hat man wehrartige Mauerkörper quer über das Tal gezogen und ein größeres Becken gebildet, weniger zu dem Zwecke des Wasserausgleichs als um Gefälle zu erschließen durch Hebung des Wasserspiegels. In Frankreich ist eine solche Anlage im Jahre 1902 in dem 20 m hohen Stauwehr von Avignonet im Departe-

1) S. Abschnitt Deutschland.

ment Isère geschaffen worden (Abb. 6)[1]). Es stand hier in Kostenvergleich, ob man das Nutzgefälle von 23 m durch einen 6 km langen Stollen oder durch Stauung des Flusses gewinnen sollte. Die Entscheidung erfolgte zugunsten der Staumauer. Das Becken bietet mit 1 Mill. cbm Fassungsraum daneben noch die Möglichkeit eines gewissen Ausgleichs, denn dieser Vorrat deckt den Bedarf von etwa 10 Betriebsstunden des Kraftwerkes. Die Amerikaner verbauen öfters ihre Flüsse durch hohe

Abb. 5. Wehr in der Wupper mit Einlaßschleuse zum Betriebskanal für das Wasser- und Elektrizitätswerk der Stadt Solingen.
Wehr aus Beton: 66 m lang. Gewonnenes Nutzgefälle: 5 m.

Wehre, sei es zum Zwecke der Kraftgewinnung oder um für Bewässerungen die notwendige Gefällhöhe zu erreichen. Man findet solche Anlagen in Kalifornien; unter anderem bietet ein Beispiel das 7,5 m hohe Wehr des Kraftwerkes zu New Milford, Conn. (10 500 PS.).

An den unteren Flußläufen mit breiten Tälern baut man meist offene

1) Schweiz. Bauz. 1903. und De La Brosse, Les Installations Hydro-Électriques dans la Région des Alpes.

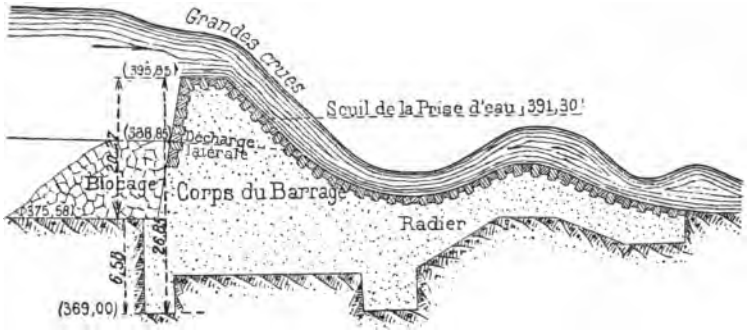


Abb. 6. Querschnitt des Wehres im Drac bei Avignonet.
Stauhöhe: 20 m über Flußsohle. Ausführung in Beton mit Quaderverblendung.

Abb. 7. Betriebskanal vom Wehr zum Kraftwerk der Stadt Solingen.
Länge: 1170 m. Sohlenbreite: 8 m. Sohlengefälle: 1:1000. Wasserführung i. M.: 12 cbm/sek.

Triebwerkkanäle, die mit dem Flusse gleichlaufend im Erdreich oder im Fels ausgehoben werden (Abb. 7 u. 8 a u. b). Die Entscheidung, bis zu welcher Grenze die Kraftausnutzung wirtschaftlich noch berechtigt ist,

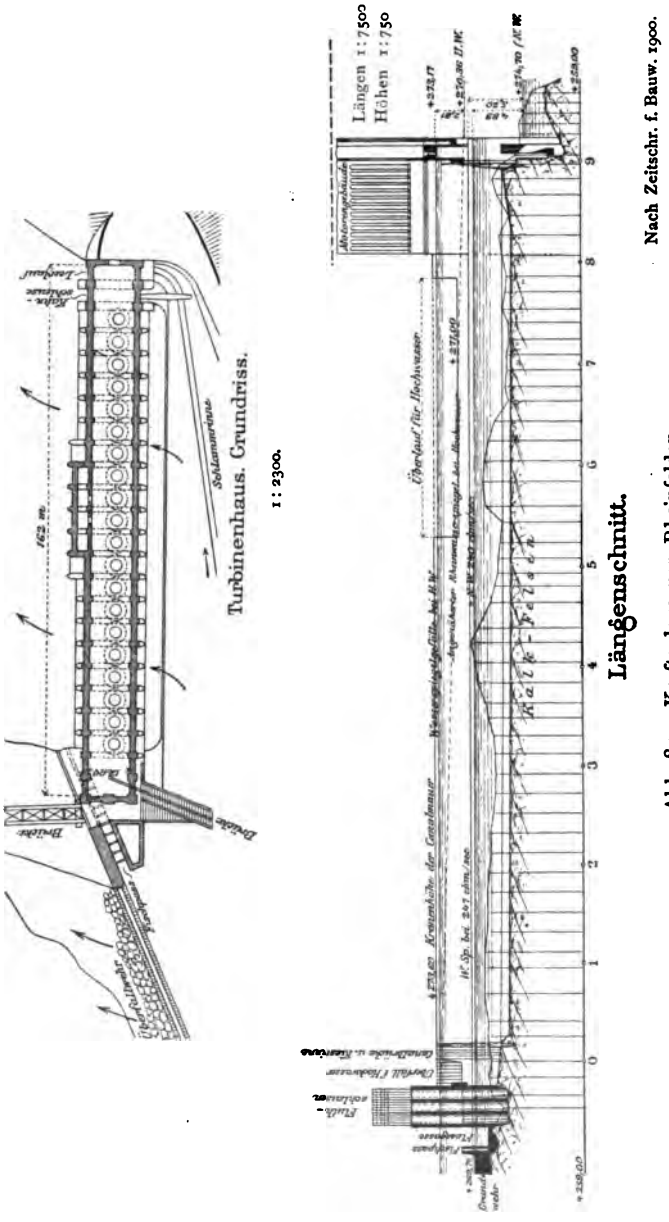
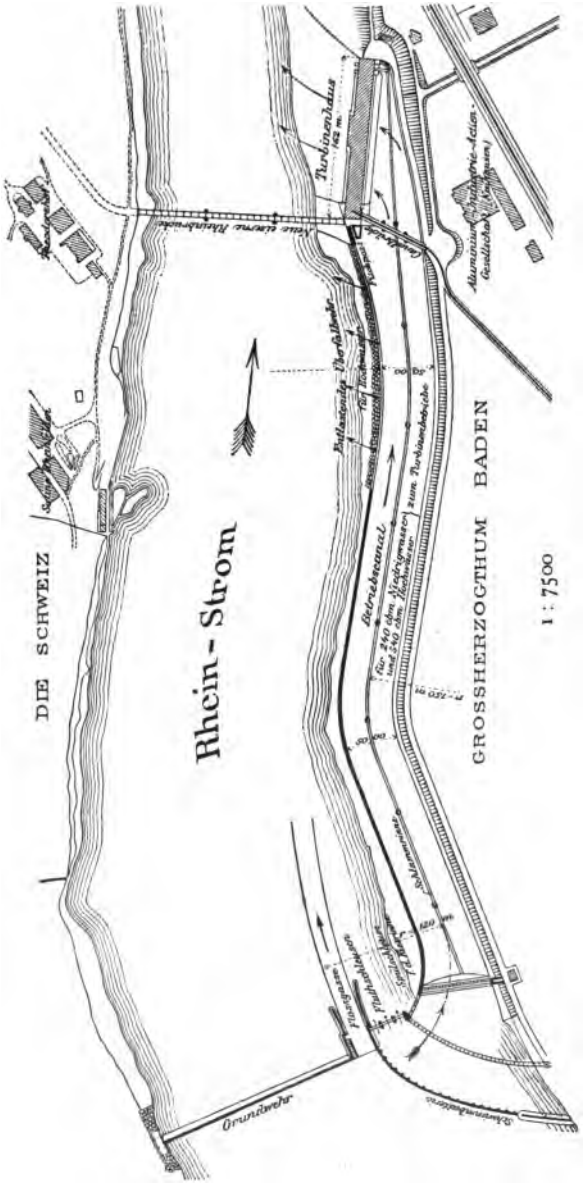


Abb. 8 a. Kraftanlage von Rheinfelden.
Nutzgefälle: 2,8 bis 4,9 m. 20 Turbinen von je 840 PS. Leistung.

hängt von dem Gefällverlust ab, der durch die Wasserführung des Betriebskanals bedingt ist. v. Miller[1]) nimmt für die Zuleitungsgräben zu den



Nach Zeitschr. f. Bauw. 1900.

Abb. 8b. Lageplan der Kraftanlage Rheinfelden.

Wasserfassung mittels Grundwehr, das durch bewegliche Schützen erhöht ist. Am Kanaleinlauf: Einrichtungen für den Floß- und Fischverkehr und die Abführung der Geschiebe; Flutschleusen für die Hochwasserentlastung. Betriebskanal, rd. 1 km lang, zur Gewinnung des Nutzgefälles (2,8 bis 4,9 m), mit Überfallwehr am unteren Ende. Kraftwerk mit Rechen, Spül- und Kahnschleuse und Fischpaß.

1) Z. d. V. d. Ing. 1903 S. 1002.

Turbinen ein Mindestgefälle von 40 bis 50 cm auf 1 km an, so daß darnach bei 0,4 bis 0,5 v. T. Flußgefälle die Ausnutzbarkeit für Kraftzwecke nicht mehr vorhanden ist. Die Menge des abzuleitenden Wassers ist bei Entscheidung dieser Frage nach dem Kanalgefälle ebensosehr von Bedeutung wie die zulässige Geschwindigkeit, welche das Wasser annehmen darf. Je größer das Gefälle ist, um so kleiner kann der Querschnitt des Kanals sein, andererseits bedingt eine starke Abflußgeschwindigkeit Gefällverluste und kostspielige Befestigungen der Kanalwandungen. Eine Wasserbewegung von 1 m sekundlich wird einen Schutz der Kanalböschungen und -sohle schon erwünscht erscheinen lassen. Man wird daher über dieses Maß bei langen Betriebskanälen nicht wohl hinausgehen, während man bei kurzen Zuleitungen, bei denen die Reibungsverluste und die Kosten eines Uferschutzes nicht sonderlich ins Gewicht fallen, wohl bis 3,0 m/sek. hinaufgeht. Zu beachten ist dabei auch, daß ein Gefällverlust von wenigen Metern bei Hochdruckanlagen weniger mitspricht, als bei niederen Gefällen. Der Einlauf zu den Turbinen wird in solchem Maße erweitert, daß eine Eintrittsgeschwindigkeit von etwa 0,5 m nicht überschritten wird. Dabei ergibt sich oft die Notwendigkeit eines Überganges aus dem geradlinigen flachgeböschten Querschnitte des Kanals in die Begrenzung aus lotrechten Mauern vor dem Krafthause. Dieser Übergang kann durch windschiefe geschwungene Fläche vermittelt werden, wobei Beton mit Vorteil Verwendung findet. Wirbel und Gegenströmungen müssen an dieser Stelle nach Möglichkeit vermieden werden (Abb. 27, 29 u. 30).

Der Unterkanal (Abfluß aus den Turbinen) sollte so angeordnet werden (Abb. 28), daß hier nie ein Trockenlaufen stattfinden kann, um ein Wasserpolster zu bilden, das den Angriff des abströmenden Wassers ermäßigt. Bei offenem Zulauf sollen die Turbinen im Oberwasser wenigstens um 1 m mit Wasser überdeckt sein, und ebenso gilt es als Konstruktionsregel, daß die Saughöhe für den Abfluß aus den Turbinen höchstens 6 m sein darf.

In beengten Gebirgstälern erfordert die Herstellung der offenen Kanäle, die dann meist als Hangkanäle ausgebildet werden müssen, ungewöhnliche Kosten, und die Betriebsicherheit ist durch Verschüttung mit herabfallenden Fels- und Geröllmassen gefährdet. Man hat daher im Gebirge die Zuleitung des Wassers vielfach in Stollen verlegt, die dem Flusse gleich laufen oder in vorteilhafter Weise die Schlangenlinien des

natürlichen Gerinnes abkürzen. Oft findet dabei der Abfluß in ein anderes, niedriger gelegenes Flußtal statt, und gerade dieser Punkt — die Gewinnung von Gefälle durch Umleitung des Wassers in ein anderes Flußsystem — hat bei neueren Ausführungen wertvolle Anwendung erlangt und verdient bei den Vorstudien zu Wasserkraftanlagen die größte Beachtung. Ein Beispiel hierfür bietet die Kraftanlage der Urfttalsperre in der Eifel (Abb. 9)[1]. Dieser konstruktive Gesichtspunkt hat auch bei einigen neueren Kraftanlagen in Norwegen, bei denen natürliche Seen durch Stollen angezapft wurden, vorteilhafte Verwertung gefunden.

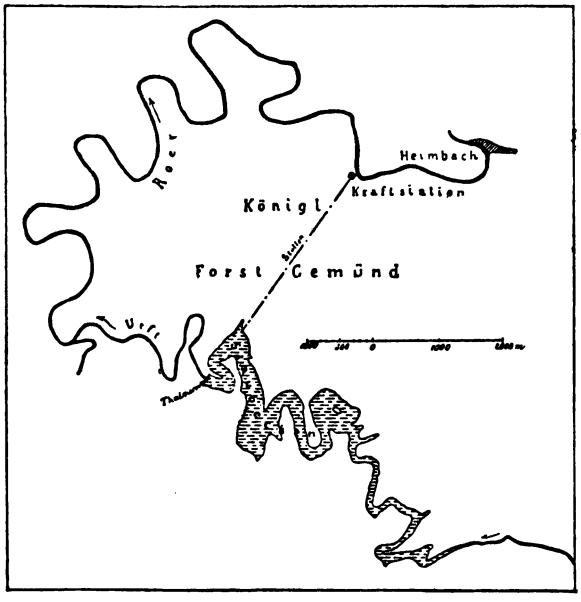


Abb. 9. Lageplan der Urfttalsperre mit Druckstollen und Kraftwerk bei Heimbach.

Neuere derartige Entwürfe schweben z. B. für den Walchensee in Oberbayern und für einige Wasserkraftunternehmungen in der Schweiz.

Das Kennzeichnende dieser Stollenführung ist, daß der Wasserlauf frei und in schwachem Gefälle bis zu einem scharfen Abfallpunkte des Bergzuges erfolgt, wo dann durch Vermittelung einer Kammer (Wasserschloß) die Überleitung des Wassers in Druckstollen oder Druckrohre ein-

1) Intze, Wasserverhältnisse im Gebirge.

tritt (Abb. 10 u. 11). Solch ein Wasserschloß vermag bei ausreichender Größe einen gleichbleibenden Druck in der anschließenden Rohrleitung zu halten und kann je nach seinem Fassungsraum in mehr oder minderem Maße den Zweck der im vorigen Abschnitt erörterten kleinen Ausgleichweiher für Stunden oder Tage erfüllen. Die Druckleitung fällt sehr stark — wenn nicht senkrecht — auf kürzestem Wege zum Kraftwerk ab. Oft durchschneiden die Stollen eine Reihe von Bergrücken nacheinander, wie z. B. bei den Wasserkraftanlagen der Edison-Gesellschaft zu Los Angeles (Westamerika). Die Verbindung der einzelnen Tunnel ist hier durch offene Gerinne in Holz-, Eisen- und Mauerkonstruktion erreicht.

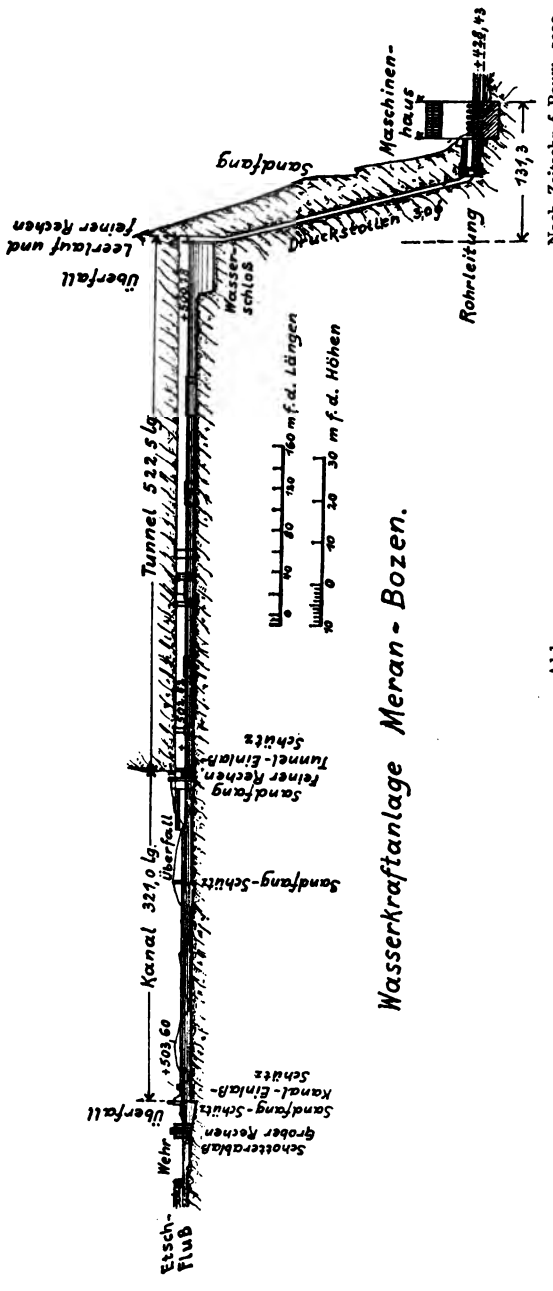
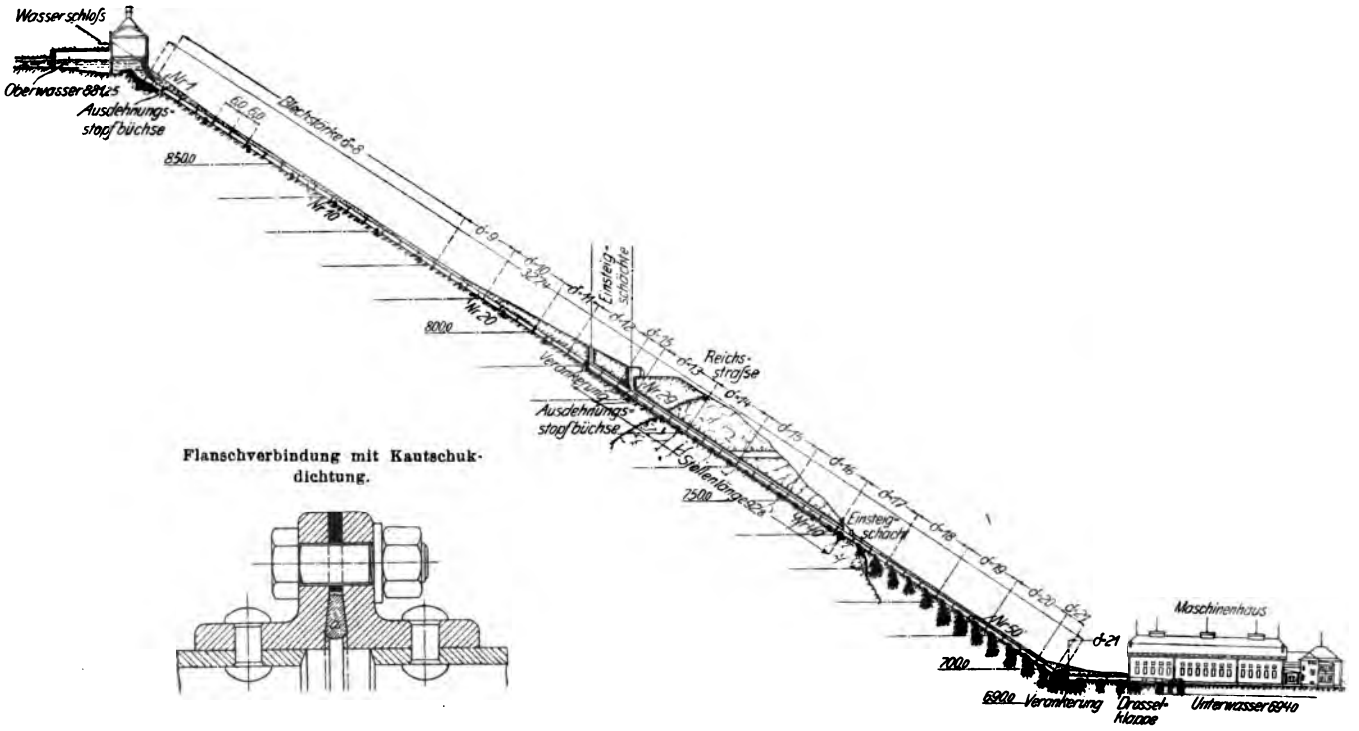


Abb. 10.

Ein weiteres Beispiel für die Hinter-



Flanschverbindung mit Kautschuk-dichtung.

Nach Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905.

Abb. 11. Höhenplan der Druckleitung für die Sillwerke bei Innsbruck.
Gefällhöhe: 187 m. Zwei genietete Druckrohre von 1250 mm Durchmesser.

einanderschaltung zweier Kraftwerke bieten zwei Anlagen bei Chèdde am Arvefluß in Frankreich (Haute-Savoie), über deren Gefällverhältnisse der Höhenplan, Abb. 12, Aufschluß gibt. Der Arvefluß wird aus dem

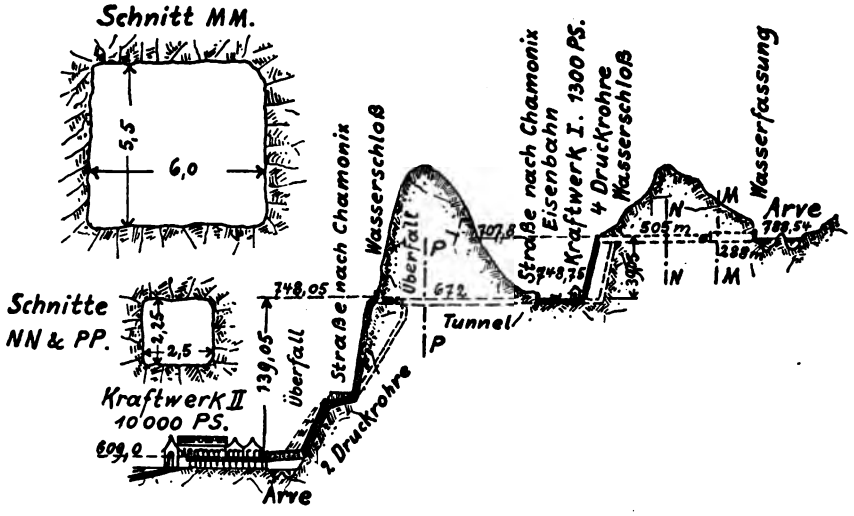
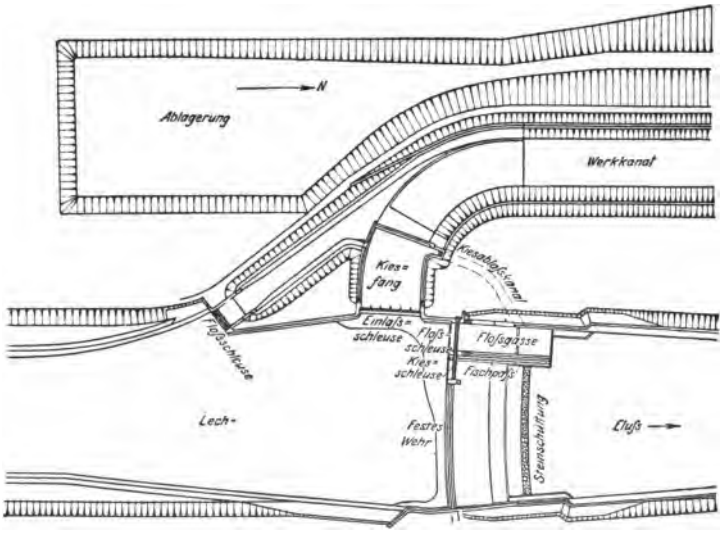


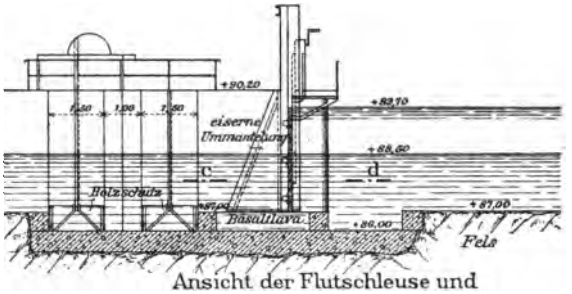
Abb. 12. Höhenplan der Wasserkraftanlagen bei Chèdde am Arve-Fluß (Frankreich). Nutzgefälle: 39 und 139 m.



Nach Bayr. Ind.- u. Gewerbebl. 1904.

Abb. 13. Wehr mit Einlaßschleuse, Kiesfang und Kiesschleuse für geschiebeführenden Fluß (Elektrizitätswerk Gersthofen).

Schnee und den Gletschern der Montblanc-Gruppe gespeist und hat ein starkes Gefälle. Das Wasser — 9 bis 10 cbm/sek. — wird zunächst in einen Tunnel von großem Querschnitt, Schnitt *MM*, geleitet, wo es sich



Ansicht der Flutschleuse und
Schnitt durch die Einlaßschleuse im Obergraben. 1:200.

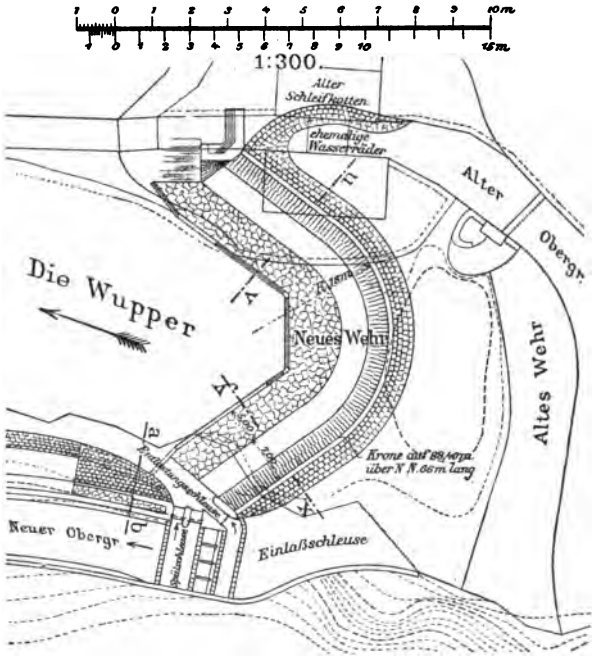


Abb. 14. Wehr mit Einlaß-, Flut- und Spülschleusen zur Beseitigung von Schlammablagerungen (Elektrizitätswerk Solingen).

abklärt; es durchfließt dann einen zweiten Tunnel, Schnitt *NN*, an dessen Ende sich das Wasserschloß des oberen Falles (39 m) mit vier Druckrohren von 1 m Durchmesser befindet. Das Kraftwerk I, in der Nähe

von Servoz belegen und 1300 PS. stark, betreibt eine 38 km lange Bahn von Fayet nach Chamonix. Der Abfluß des Kraftwassers erfolgt zunächst in offener Bergschlucht und darauf in einem dritten Tunnel von 672 m Länge, an dessen Ende in einer Meereshöhe von 748 m das Wasserschloß des zweiten Falles liegt. Durch die Abschneidung des Arvelaufes sind hier 139 m Gefälle gewonnen, die eine Kraft von 10000 PS. liefern. Der Abfall geschieht in zwei Druckrohren von je 1,40 m Durchmesser. Dieses Kraftwerk von Chèdde dient elektro-chemischen Zwecken[1]).

Abb. 15. Einlaßschleuse zum Betriebskanal (8 m breit) mit Rollschützenabschluß und Windwerk. Rechts Spül- und Entlastungsschleuse. (Elektrizitätswerk Solingen.)

Am Einlauf der Betriebskanäle oder Stollen und auch an den Wasserschlössern und vor den Kraftwerken sind in Form von Kies- oder Sandfängen Einrichtungen zu treffen für die Ablagerung der Geschiebe und Sinkstoffe (Abb. 8a u. b, 13, 14 u. 15). Seitliche Auslässe, durch Schützen regelbar, ermöglichen die Spülung. Zu weiterem Schutz werden — besonders am Kraftwerk vor dem Einlauf zu den Turbinen — Rechen aus Eisenstäben angeordnet mit 20 bis 30 mm Durchflußweite. Bei neueren Anlagen erfolgt die Reinigung dieser Rechen, die sich durch treibendes

1) De La Brosse, Les Installations Hydro-Électriques.

Laub und Strauchwerk leicht versetzen, mitunter auf mechanischem Wege durch eine harkenartige Vorrichtung, die von den Turbinen aus angetrieben wird, wie z. B. bei dem Elektrizitätswerke der Stadt Solingen (Abb. 29).

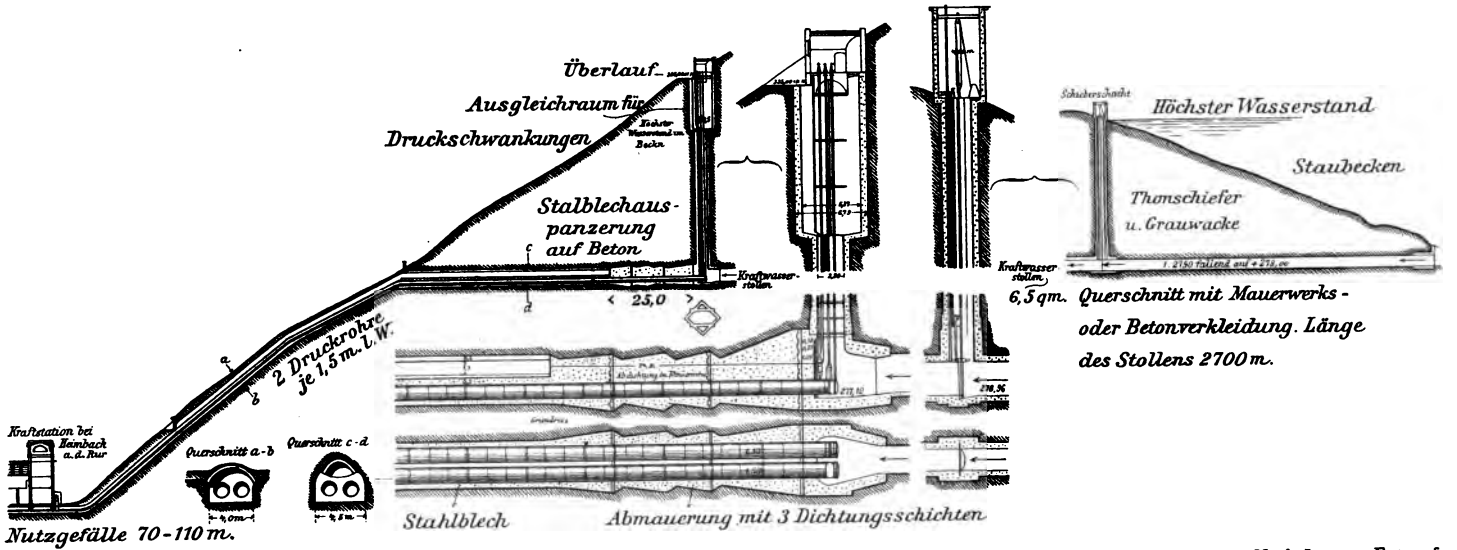
Die nachstehende Tabelle 6 gibt von neueren Ausführungen einige Daten über die Gefälle und Wassergeschwindigkeiten in Betriebskanälen und Stollen.

Tabelle 6. Gefälle von Triebwerkskanälen und Stollen.

Ort	Flußgefälle	Wassermenge cbm	Gefälle im Oberwasser	Wassergeschwindigkeit m/sek.	Länge km	Bemerkungen
Gersthofen (Lech)	1 : 750	50—60[1])	1 : 2500	0,6	7,3	Sohlengefälle.
Kraftwerk am Rhein bei Mülhausen (Entw.)	1 : 1000	250[1])	1 : 10000	0,75—1	8,1	»
Solingen (Wupper)	1 : 200	12[1])	1 : 1000	bis 1 m	1,17	»
La Dernier . . .	—	20	1 : 333	3,3	2,63	Stollenleitung.
Kubel (Schweiz) .	1 : 61	4	1 : 1333	1,2	4,626	Offene Stollenleitung.
Untertürkheim (Neckar)	1 : 150	15—24	1 : 170	—	0,42	Betonierte Sohle.
Elektrizitätswerk a. d. Sihl (Zürich)	1 : 52	1,8—3,0	1 : 1000	bis 1,21	2,2	Stollen.
Val de Travers						
Champ de Moulin	(52,5)	3,5	1 : 500	—	1,0	} Kanal.
Usine des Clées	(56,0)	1,15	1 : 1000	—	1,6	} Kanal.
Meran-Bozen . .	(70,0)	8,0	1 : 333	—	0,321	Offener Kanal.
	1 : 14	8,0	1 : 286	—	0,522	Stollen.
Brennerwerke Matrei	(82,0)	8,5	1 : 500	—	0,526	Stollen.
Wangen a. d. Aare	1 : 900	120,0	1 : 6000	1,0	8,0	Offener Kanal.
Kykkelsrud (Norwegen).	12—19	200—400	1 : 67	2—3	1,0	Offener Kanal.
Kraftwerk d. Val-Tellina-Bahn (Italien)	30	25	1 : 1000	1,5	4,8	1,9 km off. Kan. 2,9 km Tunnel.
Jajce (Bosnien). .	75	14	1 : 1000	—	3,1	Offener Kanal. 900 m Tunnel.
Bruck (Österreich)	8,7	22—37	1 : 5000	0,8—1,0	2,1	Offener Kanal.

Die Druckstollen in natürlichem Gestein verlangen ein sehr dichtes Gebirge, wenn nicht unangenehme Wasser- und Druckverluste entstehen sollen. Wo man dieser Dichte nicht sicher war, hat man die Seitenwände

1) M. W.



Nach Intzes Entwurf.

Abb. 16. Druckstollen zur Zuleitung des Kraftwassers von der Urfttalsperre zum Kraftwerk bei Heimbach.

ausbetoniert und mit wasserdichtem Putz versehen (Urfttalsperre, Abb. 16). Durch die glatten Wände werden zudem die Reibungswiderstände wesentlich vermindert.

Druckrohrleitungen.

Wenn in den vorerwähnten Anlagen die Druckrohre nur einen Teil der Wasserzuführung bilden, so finden sich doch auch vielfach Geländeverhältnisse, bei denen zweckmäßig die Überleitung vom Staubecken oder einer anderen Wasserfassung nach dem Kraftwerk ganz in geschlossenen Rohrleitungen erfolgt. Man wird die Frage aufwerfen dürfen, bis zu welchem kleinsten Längsgefälle ein Tal für die Kraftgewinnung durch eine Druckleitung verwertbar ist. Eine kurze Aufrechnung gibt darüber Aufschluß. Es sei Q in Litern die verfügbare Wassermenge und A Mark die Kosten für ein laufendes Meter der fertigen Rohrleitung. Auf ein Meter Talgefälle erhält man bei 75 v. H. Nutzwirkung eine nutzbare Kraft von $\frac{Q}{100}$ Pferdestärken, deren Wert $\frac{Q \cdot P}{100}$ beträgt, wenn die Turbinenpferdekraft mit P Mark in Ansatz gebracht wird. Die Kosten der Leitung für die Strecke x, auf welcher das Talgefälle 1 m beträgt, sind $A \cdot x$ und bei einem Satze von p v. H. für Zinsen, Unterhaltung und Tilgung ist die jährliche Aufwendung $\frac{A \cdot x \cdot p}{100}$. Sollen Einnahmen und Ausgaben sich das Gleichgewicht halten, so ergibt sich $\frac{A \cdot p \cdot x}{100} = \frac{Q \cdot P}{100}$, woraus $x = \frac{Q \cdot P}{A \cdot p}$. Hierin ist der Reibungsverlust nicht berücksichtigt, doch ist dieser gering bei einer Wassergeschwindigkeit < 1 m/sek. und größerer Rohrweite. Man wird bei mittleren Verhältnissen finden, daß noch schwache Längsgefälle von 1 : 100 und weniger hinreichen, um aus einer Druckleitung wirtschaftliche Erfolge zu erzielen. Ausgeführte Anlagen lassen dies praktisch erkennen.

Ein Beispiel bietet das Kraftwerk von Champ (Isère). Der Drac, Nebenfluß der Isère, fließt dort in einer weiten Ebene hin, wo es nicht gut möglich war, weder einen Hangkanal anzulegen, noch ein Stauwerk quer durch das Tal, welches mehrere Kilometer hätte lang werden müssen. Man hat hier das Wasser des Flusses durch ein kleines Wehr gefaßt und führt es in einer Rohrleitung, die in der Ebene, fast im Flußbett

in einem Gefälle von 1:150 eingebettet liegt, zum Kraftwerk hin (Abb. 17). Die Rohrleitung hat einen Durchmesser von 3,30 m und 4600 m Gesamtlänge. Die Wassergeschwindigkeit beträgt ein wenig mehr als 2 m/sek. Die oberen 2100 m des Druckrohres sind in Eisenbeton, die unteren 2500 m in Stahlblech ausgeführt. Das Eisenbetonrohr (Abb. 17 u. 20) ist einem inneren Druck bis 20 m ausgesetzt. Das Rundeisennetz ist aus Stäben von 6 bis 12 mm Durchmesser hergestellt, die parallel zur Rohrachse liegen, und aus Stäben von 11 bis 22 mm Durchmesser, die im

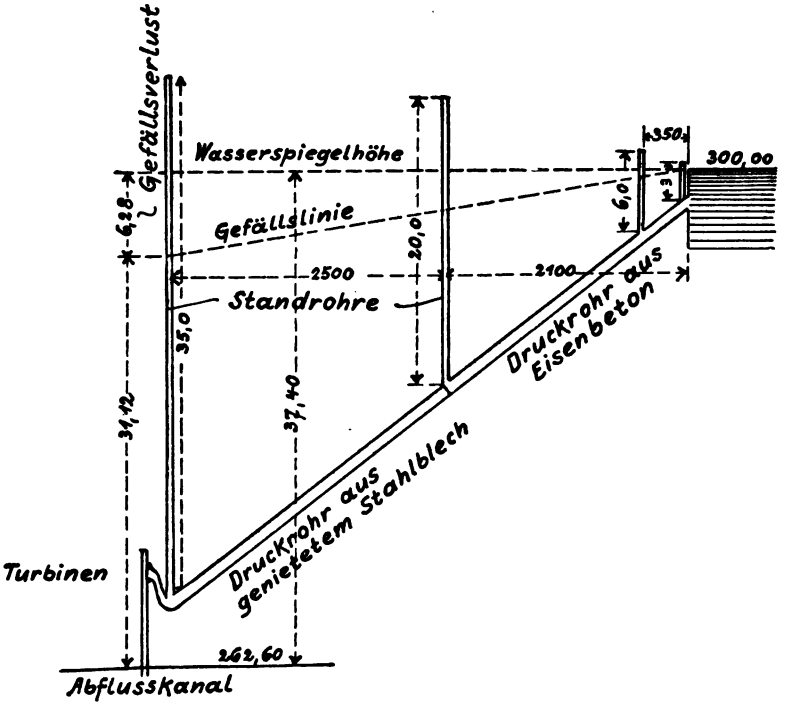


Abb. 17. Höhenplan der Druckrohrleitung von 3,3 m Durchmesser aus Stahlblech und Eisenbeton für das Kraftwerk von Champ (Isère).

Querschnitt angeordnet sind. Die Betonstärke beträgt 20 bis 25 cm. Das Rohr ruht auf einer Betonunterlage von 30 cm Dicke und ist im unteren Teil mit Erde umschüttet. Die Stärke des Stahlbleches ist 7 bis 10 mm (Abb. 17 u. 19).

An dieser Rohrleitung sind zur Vermeidung von Wasserschlägen vier Standrohre von 3, 6, 20 und 35 m Höhe vorgesehen, in denen das Wasser hochsteigen und seine lebendige Kraft vernichten kann bei plötzlichen

Abstellungen der Leitung. Das unterste, am Kraftwerk belegene Standrohr (Abb. 17 u. 22) hat am Fuß 3,3 m und an der Spitze 1,4 m Durchmesser. Oben ist ein Behälter aus Stahl von 3 m Durchmesser und 2 m Höhe, von dem aus drei Überlaufrohre von 0,6 m abgehen, die in das Unterwasser Abfluß haben. Außerdem sind einige Entlastungsventile vorgesehen, um die Druckschwankungen in der Rohrleitung zu vermindern. Das Kraftwerk besitzt eine Leistungsfähigkeit von 7000 PS. (Rohkraft)[1]).

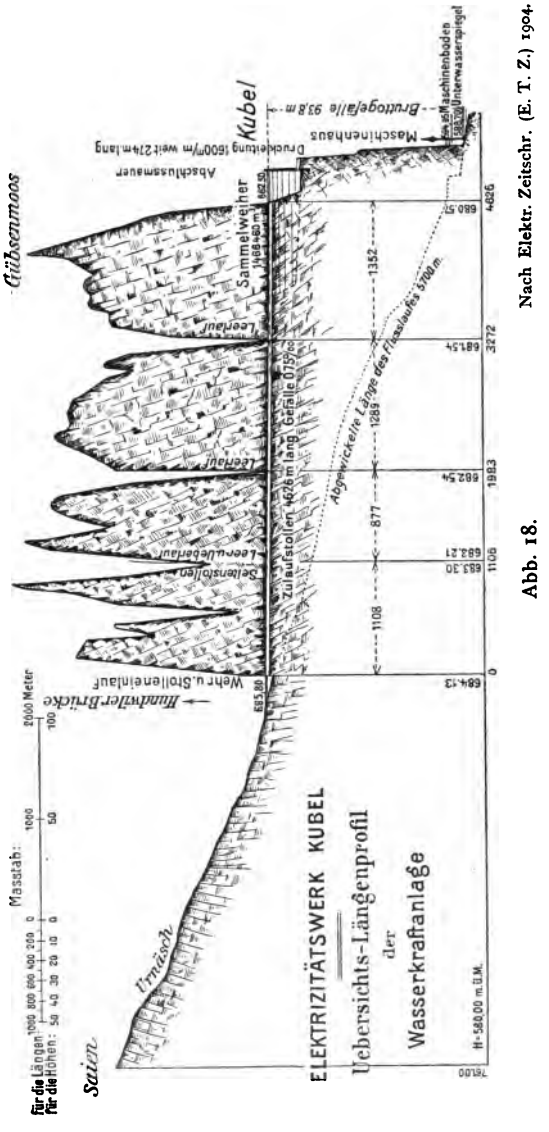


Abb. 18.

Die Linienführung der Druckleitung gestaltet sich für den Betrieb des Kraftwerkes am günstigsten, wenn das Rohr von dem Sammelbehälter zu den Turbinen ohne Höhen- u. Tiefenpunkte abfällt (Abb. 11 u. 18). Höhenstellen in der Linienführung geben zu Luftansammlung Anlaß, die den Rohrquerschnitt versperren, und Tiefenstellen führen zu Ablagerungen und Verschlammungen. Dadurch kann eine Ungleichmäßig-

1) De La Brosse, Installations Hydro-Électriques u. Eng. Rec. Dez. 1905.

keit des Wasserlaufs eintreten, die besonders bei Druckleitungen für Kraftzwecke Störungen im Gange der Maschinen zur Folge haben würde. Durch Einschaltung von zum Teil selbsttätigen Vorrichtungen für Entlüftung, Entwässerung und Entlastung bei zu hohem Innendruck ist man imstande, schädlichen Beeinflussungen der Wasserführung durch Höhen- und Tiefenpunkte entgegenzuwirken (siehe unten). Dessenungeachtet hatte man in früheren Jahrzehnten gegen die Linienführung mit Knickpunkten sehr große Betriebsbedenken. Zu dieser Frage ist bemerkenswert eine Äußerung von Schneider über die Rheintal-Wasserleitung der Stadt Elberfeld (1881). Er schreibt: »Zu einem einfachen Betriebe trägt wesentlich die Vermeidung von Luftansammlungen, sogenannten Luftsäcken, d. h. solchen Stellen in der Rohrleitung bei, wo Steigung in Gefälle übergeht, wo also die stets nach oben steigende Luft Gelegenheit hat, sich anzusammeln. Jedem Betriebsführer von Wasserleitungen sind die verheerenden Wirkungen, welche die eingeschlossene Luft aus wohl naheliegenden, aber doch nicht völlig aufgeklärten Gründen auszuüben vermag, bekannt. Deshalb ist der Grundsatz, derartige Wechsel zwischen Steigung und Gefälle zu vermeiden, auf der ganzen Linie von Benrath bis Elberfeld mit einer Ausnahme in Vohwinkel aufs strengste durchgeführt«. Bemerkt sei, daß die in Rede stehende Leitung 16,6 km lang ist und 550 mm Durchmesser hat.

Neuere Erfahrungen — ein Beispiel hierfür ist die Frankfurter Quellwasserleitung — haben erwiesen, daß sich Wasserleitungen selbst bei wellenförmiger Linienführung im Betriebe gut bewähren können, wenn ein gleichmäßiger Wasserlauf stattfindet.

Allerdings werden in solchem Falle, wo das Wasser in einen Vorratsbehälter einläuft, Luftansammlungen und Ablagerungen wohl nicht in dem Maße ungünstig einwirken, als dann, wenn der Druck der Leitung auf Turbinen lastet, die eine gleichmäßige Kraft oder elektrischen Strom erzeugen sollen. Während es bei einer Wasserleitung weniger darauf ankommt, ob wohl einmal in kleinen Zeiträumen Verminderungen des Zulaufs stattfinden, da der Hochbehälter ausgleichend wirkt, würden in dem Kraftwerk sich sogleich Störungen im Gange der Maschinen, die weiterhin auf die Gleichmäßigkeit des erzeugten elektrischen Lichtes Einfluß ausüben müßten, bemerkbar machen. Daneben stellt im besonderen der Betrieb eines Elektrizitätswerkes die Forderung, daß die Kraftentnahme im Laufe des Tages in beliebiger Weise wechseln kann. Man

ersieht dies, wenn man die Darstellungen der Belastungskurven solcher Werke verfolgt (Abb. 59). Die Abgabe des elektrischen Stromes schwankt außerordentlich in den einzelnen Tagesstunden, und diese Schwankungen steigen im Laufe einer Stunde wohl bis auf das Doppelte des Mindestverbrauches des Tages. Dementsprechend muß die Wasserbeaufschlagung der Turbinen größer oder kleiner sein. Die wechselnde Wasserentnahme hat Änderungen in der Wassergeschwindigkeit zur Folge. Die lebendige Kraft der in Fluß befindlichen Wassermenge des Druckrohres muß starke Innendruckbeanspruchungen im Rohre hervorrufen, die im besonderen die Wendepunkte der Linienführung in Gefahr bringen werden. Die gleichen ungünstigen Beanspruchungen entstehen in einer langen Leitung beim Anlassen und Abstellen, so daß große Vorsicht geboten ist, selbst wenn Sicherheitsventile vorhanden sind. Eine wünschenswerte Forderung für eine derartig gestaltete Rohrlinie ist also ein möglichst gleichmäßiger Betrieb.

Die Wahl der richtigen Rohrweite, sowie des dem Zwecke angepaßten Rohrmaterials und der Rohrverbindungen ist nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich von wesentlicher Bedeutung. Der Rohrdurchmesser — eine Funktion der abzuführenden Wassermenge und des Nutzgefälles — darf nicht zu klein sein, um nicht zu hohe Reibungswiderstände bei der Bewegung des Wassers zu erzeugen; auf der andern Seite beeinflußt jedes Zentimeter größerer Lichtweite bei den oft recht langen Rohrleitungen der heutigen Kraftwerke den Gesamtpreis außerordentlich. Beide Einwirkungen sind dauernd. Der höhere Rohrpreis erfordert eine dauernde Verzinsung und die Tilgung einer beträchtlichen Geldsumme, der gesteigerte Reibungsverlust hat für alle Zeit einen Kraftverlust zur Folge, indem er das Nutzgefälle verringert. Es gilt zwischen beiden Einflüssen abzuwägen durch vergleichende Kostenberechnungen, wobei man sich wird zu vergegenwärtigen haben, daß die Reibungshöhen unverhältnismäßig wachsen, wenn die Wassergeschwindigkeit 1 m sekundlich übersteigt. Doch kommen bei kurzen Rohrleitungen auch größere Geschwindigkeiten vor. Auch der Einfluß großer Geschwindigkeit von mehr als 2,5 bis 3 m sekundlich auf die Haltbarkeit der Leitung infolge erhöhten Angriffs auf die Rohrwandungen fällt für die Entscheidung ins Gewicht. Über die theoretisch erforderliche Weite tut man gut noch einen Zuschlag zu machen. Denn erfahrungsgemäß bilden sich an Rohrleitungen selbst bei reinem Wasser Ablagerungen und knollen-

artige Rostansätze. Diese Einflüsse im voraus genau zu erkennen ist nicht wohl möglich. Die Vorsicht möchte anraten mit etwa 20 v. H. Verminderung der Leistungsfähigkeit zu rechnen. Im allgemeinen macht der Kraftverlust durch Gefällverminderung in Geldwert umgesetzt sich stark bemerkbar, und man wird gut tun dieses Kapital auf die Gewinnung größerer Kraft in besserer Wasserführung anzulegen, weil vermehrte mechanische Kraft unter heutigen Verhältnissen für das Wirtschaftsleben immer einen Vorteil und ein werbendes Kapital bedeutet. Es ist bemerkenswert, daß die geschäftskundigen Amerikaner es vorziehen, dem Zweck angepaßte große Rohrweiten zu wählen — Weiten, die uns mitunter ungewöhnlich reichlich bemessen scheinen. Man schätzt dort eben die mechanische Kraft sehr hoch ein. Es ist unvorteilhaft, eine Rohrleitung von Anfang bis Ende bei gleichem Durchmesser mit gleicher Wandstärke herzustellen. Das gibt eine schlechte Ausnutzung des Materials. Richtiger erscheint es, die Wandstärke nach unten hin mit steigendem inneren Druck stufenmäßig zu vergrößern, so daß die Einheitsbeanspruchung immer die gleiche bleibt. Das andere Mittel, das zu Ersparnissen führt, besteht darin, nach unten hin den Durchmesser zu verringern bei ungeminderter Blechstärke, so daß die Zugbeanspruchung ebenfalls dieselbe bleibt. Für die Praxis ist dies jedoch nicht vorteilhaft. Catani[1]) schlägt darum vor, beide Mittel gleichzeitig anzuwenden — den Durchmesser zu verkleinern und die Wandstärke zu erhöhen, ein Verfahren das durch praktische Ausführungen noch nicht erhärtet ist.

Bemerkenswert ist in dieser Hinsicht die hydro-elektrische Kraftanlage der Cauvery-Fälle in Indien, bei der die Hauptrohrleitungen in 4 Zonen von je 1140, 1070, 990 und 915 mm Durchmesser eingeteilt wurden, so daß es möglich war, die Rohrstöße für den Transport ineinander zu stecken, wodurch die Kosten der Beförderung wesentlich verbilligt wurden. Die Rohrstöße wurden dann an Ort und Stelle zusammengenietet.

Aus den Beziehungen von Wassermenge und Gefällhöhe zur Rohrweite und Wassergeschwindigkeit hat Tams ein interessantes Schaubild für Kraftleitungen entwickelt, das auf der Grundlage einer Länge des Druckrohres von 1000 Fuß es ermöglicht, z. B. bei gegebener Gefällhöhe h und Wassermenge Q die Weite des Rohres zu ermitteln, die erforderlich ist, um eine Höchstleistung an Kraft mit der gegebenen Höhe und Leitungslänge zu erzielen[2]).

1) E. T. Z. 1905 S. 306. 2) The Eng. Rec. 1905 I S. 440.

Über die Materialfrage, ob bei Wasserleitungen gußeiserne oder schmiedeeiserne Rohre zweckmäßiger sind, herrscht zur Zeit Meinungsverschiedenheit — eine Fehde, die mit besonderem Eifer naturgemäß von den liefernden Werken geführt wird. Aber auch die Verwaltungen sind an diesem Gegenstande in hohem Maße interessiert. Das Schmiedeeisen ist der Eindringling auf diesem Gebiet, der sich das Feld gegenüber einem alten, bisher so ziemlich allein herrschenden Gegner zu erobern hat. Obwohl Schmiedeeisen in genieteten Rohren für große

Abb. 19. Rohr von 3,3 m Durchmesser aus genietetem Stahlblech für die Druckleitung der Kraftanlage von Champ (Isère).

Weiten schon früher geliefert wurde (Abb. 19), auch das Mannesmannverfahren für kleine Rohre bis etwa 300 mm Durchmesser in Wettbewerb trat, ist doch die Streitfrage seit kurzem erst brennend geworden, nachdem die Schweißung mit Wassergas einen sichern Schluß der Naht von 95 v. H. der Festigkeit der Blechwand hat erreichen lassen, während die Nietnaht nur etwa 70 v. H. aufwies. Die geschweißten Rohre können überdies in beliebigen Weiten bis etwa 3 m und in Baulängen bis etwa 46 m hergestellt werden.

Der geringere und größere Gehalt an Kohlenstoff, welcher den grundsätzlichen Unterschied zwischen beiden Eisenarten bildet, beeinflußt die Eigenschaften dieser Stoffe in zwei Richtungen, von denen je eine günstig ist für jede Materialart. In dem vielen hin und her der gegensätzlichen Meinungen darf als objektive, nichtumstrittene Tatsache gelten, daß der größere Kohlenstoffgehalt dem Gußeisen an sich eine größere Sicherheit verleiht gegen den Angriff durch Rost, als sie das Schmiedeeisen besitzt, daß aber andererseits das Schmiedeeisen eben wegen dieses Mangels an Kohlenstoff elastischer und gegenüber äußerem Druck nachgiebiger ist als das spröde Gußeisen. Die Dehnbarkeit des geschweißten Eisens wird zu 22 v. H. angegeben. Die Zugfestigkeit des Gußeisens für ruhige Last beträgt etwa 1200 kg/qcm, während die des Siemens-Martin-Schweißeisens 3500 bis 4000 kg/qcm erreicht.

Für gutes Gußeisen gelten 180 kg/qcm Zugbeanspruchung als zulässig; doch trifft dies nicht für alles Rohrmaterial zu, das auf den Markt kommt. Jedenfalls empfiehlt es sich, falls so hohe Beanspruchungen in die Rechnung eingeführt werden, Baustoffprüfungen an den einzubauenden Rohren durchzuführen.

Aus dem Umstande, daß gerade diese beiden Eigenschaften von solcher Bedeutung in Rohrleitungen sind, erklärt es sich wohl, wenn eine Einigung der Ansichten schwer endgültig und allgemein erreicht wird. Man wird je nach den besonderen Anforderungen im Einzelfalle den einen oder andern Stoff zu wählen haben.

Auf die Rostfrage einzugehen ist schwer, weil diese Frage so sehr eine Sache der Ansichten ist, und weil theoretische Erwägungen aus kurz angestellten Versuchen nicht wohl allein maßgebend sein können und damit nicht zu beweisen möglich ist, was nur langwährende Erfahrungen an ausgeführten im Betriebe befindlichen Leitungen dartun können. Wenigstens trifft dies für Schmiedeeisen zu, dessen Verwendung für diese Zwecke wohl noch nicht über 30 Jahre hinausreicht. Gußeisen hat die Erfahrung für sich; hier sieht man schon klarer. Wenn zwar Aufgrabungen gezeigt haben, daß auch Gußeisen nicht ganz gefeit ist gegen Rost, so bieten doch — unter sonst gleichen Rost-Bedingungen wie bei Schmiedeeisen — schon die stärkeren Wandungen der Gußrohre einen wesentlichen Rückhalt. Man hat Rohre, die im Jahre 1790 in Homburg v. d. H. verlegt wurden, vor einigen Jahren ausgegraben und noch vollständig erhalten gefunden. In Versailles hat Ludwig XIV. zu den Wasserwerken

in den Jahren 1660 bis 1680 ca. 24000 m gußeiserne Rohre von 325 bis 500 mm Weite eingebaut. Die Leitung soll heute noch — also nach mehr als 200 Jahren — im Betriebe sein[1]).

Von seiten der Verfechter des Schmiedeeisens wird die bessere Erhaltung des Gußeisens zwar anerkannt, aber darauf hingewiesen, daß man im stande sei, durch einen geeigneten Überzug genügenden Rostschutz herbeizuführen, wenn dieser Überzug aus Asphalt und Teerstoffen auf die Rohre in warmem Zustande unmittelbar im Anschluß an das Schweißverfahren aufgebracht wird. Dieser Überzug, verstärkt durch spätere Anstriche, soll dauernd eine feste und geschlossene Haut abgeben. Die Erfahrungen hiermit erstrecken sich auf noch nicht mehr als etwa 10 bis 15 Jahre. Ein endgültiges Urteil kann also noch nicht gewonnen werden. Auch ist nach neueren Beobachtungen zu vermuten, daß die Art des Bodens, in dem die Rohre gebettet sind, auf die Rostbildung von Einfluß ist. In Kiesboden soll das Verrosten in geringerem Maße als in anderen Bodenarten erfolgen. Die Wirkung im Erdreich vagabundierender elektrischer Ströme soll nach Versuchen dem Schmiedeeisen gefährlicher werden als dem Gußeisen. Alle diese Umstände und Einflüsse lassen sich noch nicht durchschauen und erkennen, und ehe hier nicht weitere Klarheit geschaffen wird, wird man in gewöhnlichen Leitungen in ebenem Gelände, die keine hohe Druckbeanspruchung auszuhalten haben und bei günstigen Transportverhältnissen wohl dem Gußeisen den Vorzug geben können, das hinsichtlich der Rostgefahr eine lange Bewährung aufzuweisen vermag und bei fester Lage und ruhigem Betriebsdruck erfahrungsmäßig volle Sicherheit bietet. Jedenfalls tut man in beiden Fällen gut, über die theoretisch erforderliche Wandstärke für die Abnutzung einen kleinen Zuschlag von einigen Millimetern zu machen[2]). Im allgemeinen wird man bei Gußeisen mit 7 bis 10facher Sicherheit rechnen, während bei Schmiedeeisen eine 6 bis 7 fache Sicherheit genügt.

Bei Leitungen mit hohem innern Druck, wie bei den neuern Kraftanlagen, die zudem oft in abgelegenen Gebirgstälern mit ungünstigen Transportverhältnissen eingebaut werden, spricht nun aber das zweite Moment der Elastizität des Materials wesentlich mit. Normale Gußeisenrohre werden für ruhigen Betriebsdruck bis zu 10 Atm. hergestellt.

1) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes vom 4. 1. 1904.

2) Über Vorschriften für die Lieferung von Gußeisen vgl. Z. d. V. d. Ing. 1905 S. 404.

Bei höheren Drucken erfolgt eine entsprechende Verstärkung der Wandungen. Aber es ist naturgemäß, daß diese Verstärkung grundsätzlich an der Eigenschaft des Gußeisens, seiner Sprödigkeit, nichts zu ändern vermag. Diese wird besonders dann gefährlich, wenn die oben erwähnten Druckschwankungen auftreten, sei es, daß diese durch die Stöße der Pumpen, die von einem tiefgelegenen Kraftwerk das Wasser auf große Höhe nach einem Behälter heben, entstehen, sei es, daß von einem Sammelraum aus ein hoher Druck auf tiefstehende Turbinen sich entwickelt. Diese hohen innern Pressungen, denen erwiesenermaßen das Schmiedeeisen besser gewachsen ist, sind es, die auch den Anhängern des Gußeisens bei hohem Druck, also von etwa 10 bis 12 Atmosphären ab, die Verwendung des Schmiedeeisens wünschenswerter erscheinen lassen. Allerdings ist nicht zu verkennen, daß auch gußeiserne Rohre sich unter solchen Umständen bewährt haben. Man hat in der Schweiz Gußeisen in Muffenrohren in Gefällen bis zu 600 m Höhe und bis 450 mm Lichtweite eingebaut, und es wird berichtet, daß sich solche Anlagen im Betriebe gut gehalten haben. Die Art der Linienführung dieser Hochdruckstränge ist dabei nicht angegeben. Diese spricht aber, wie früher erörtert, mit, und eine Leitung mit gleichmäßigem Abfall hat günstigere Vorbedingungen für den Wasserfluß als eine Linienführung über Berg und Tal mit Höhen- und Tiefenpunkten. In Solingen ist eine Muffen-Gußrohrleitung von 400 mm Weite und 3730 m Länge von dem Pumpwerk nach dem 170 m höher gelegenen Hochbehälter vorhanden, die im Betrieb gut liegt. Die Bleidichtungen haben keilförmigen Querschnitt. Bei Neuherstellungen würde man doch vielleicht dem Schmiedeeisen den Vorzug geben wegen der schwierigen Förderverhältnisse der dortigen Gegend. Denn es hat die Erfahrung erwiesen, daß Gußeisenrohre bei schlechten Wegen und schwieriger Fortschaffung, wo es bis zu einem gewissen Grade in der Natur der Sache liegt, daß den schweren Einzelrohren nicht immer die gebotene schonende Behandlung seitens der Arbeiter zuteil werden kann, viele Brüche, besonders an den Schwanzenden und Muffen erleiden. Oft bilden sich feine Risse, die mit dem Auge kaum erkennbar sind und erst sichtbar werden, wenn das Rohr verlegt und einer Druckprobe unterworfen wird. Durch Abstemmen solcher gesprungenen Enden kann zwar der nächste Schaden abgewendet werden, aber dadurch entsteht vermehrte Arbeit des Abstemmens, vermehrte Dichtungsarbeit infolge der kürzeren Rohrstücke, mehr Gefahrstellen für

Undichtigkeiten an den Mehrmuffen usw. In Nordhausen a. Harz wurde beim Bau der Druckrohrleitung von der Talsperre nach dem Kraftwerk auf dem Transport vom Bahnhof bis zum Einbau im Gebirgstale ein Bruch von 6 v. H. festgestellt. Unter solchen Umständen besitzt Schmiedeeisen einen offensichtlichen und wohl nicht umstrittenen Vorzug in seiner größeren Zähigkeit, die auch gegenüber der oft unsichern Lage in nachgiebigem Grunde oder auf Felsen, wo das Rohr bisweilen auf den Einzelstützen der Felszacken liegt, in Betracht kommt. Das wesentlich geringere Gewicht, wie auch die größere Baulänge der schmiedeeisernen Rohre, die die Nachteile der vielen Stöße der kurzen Gußrohre vermindert, darf dabei ebenfalls nicht außer Acht gelassen werden.

Die Kostenfrage hinsichtlich beider Eisenarten läßt sich allgemein endgültig nicht wohl beantworten. Im Durchschnitt hat sich bei vielen Ermittlungen erwiesen, daß bei kleinen Lichtweiten das Gußeisen billiger wird, bei großen das Schmiedeeisen, weil im letzteren Falle infolge der dünneren Wandungen das kleinere Eisengewicht der schmiedeeisernen Rohre zu seinen Gunsten wirkt. Besonders kommt dieser Umstand gegenüber den starkwandigen gußeisernen Rohren bei hohen Drucken über 10 Atm. in Betracht. Hier geben dann auch die Förderkosten bei entlegener Baustelle einen wesentlichen Ausschlag. Die Preisgrenze liegt etwa bei 500 bis 600 mm Lichtweite. Darunter sind gußeiserne, darüber schmiedeeiserne Rohre billiger.

In Amerika bevorzugt man Schmiederohre für hohe Pressungen, für niedrige Drucke Gußeisen, dem man wegen seiner starken Wandungen — wohl aus den oben erörterten Gründen — eine lange Dauer zuschreibt. Es haben sich dort Schmiedeeisenrohre bei hohen Beanspruchungen betriebssicherer erwiesen. Aber das gilt auch hier nicht allgemein. So hat man z. B. bei der Colgate-Anlage in Westamerika bis zu einem Wanddruck von 22 kg/qcm, also 220 Gefällhöhe, Gußeisen angewandt. Die Amerikaner brauchen bei großen Rohrweiten mit Vorliebe genietete Rohre von 6 bis 9 mm Stärke, jedoch kommen neuerdings auch geschweißte Rohre in Aufnahme, indem man auch dort erkennt, daß die Schweißnaht einen höheren Festigkeitsgrad als die Nietnaht hat. Deswegen ist es z. B. in Kalifornien üblich, in dem oberen Teile der Linienführung, wo die Pressungen gering sind, genietete Rohre zu verlegen, geschweißte Rohre dagegen in der unteren stärker beanspruchten Strecke. Eine derartige Teilung ist z. B. zur Anwendung gekommen bei The San

Joaquin Electric Company's Rohrleitung, die 1200 m lang ist und 420 m Gefälle und 50 bis 62 cm Durchmesser hat. Die Rohre sind mittels Flanschen verbunden. Bemerkenswert ist die 445 km lange, i. J. 1903 vollendete Leitung der Standard Oil Company, welche von dem Bakersfield und Coalinga Ölgebiet Öl nach Point Richmond an der San Francisco Bay leitet. Die Rohrweite beträgt 20 cm, der Betriebsdruck bis zu 40 kg/qcm. Es ist Hartstahl zur Anwendung gelangt [1]).

In Norwegen werden ebenfalls viel schmiedeeiserne, genietete Rohre verwandt im Durchmesser bis zu 5 m und mehr. Auch bei uns verschließt man sich neuerdings der Verwendung von schmiedeeisernen Rohren nicht mehr. München baut 22 km Rohre von dieser Eisenart ein [2]). Wien hat für seine neue Hochquellenwasserleitung, in der Drucke von 12 Atm. vorkommen, bei einem Objekt von etwa 200 Mill. sich für Schmiedeeisen entschieden. Die Kanalisationswerke von Berlin verwenden neuerdings ebenfalls mehrfach Schweißeisen für ihre großen Druckrohrstrecken.

Man wird aus allem folgern können, daß bei Wasserkraftanlagen mit hohem Druck — 10 Atm. und mehr — die Entscheidung zwischen Gußeisen und Schmiedeeisen nicht so sehr durch die Rostfrage beherrscht wird, als durch die Forderung der Betriebsicherheit. Und es ist nach den obigen Ausführungen wohl nicht umstritten, daß bei so hohen Drucken Schmiedeeisen größere Betriebssicherheit bietet, besonders bei Turbinenbetrieb, wo man trotz aller Vorsichtsmaßregeln — Entlastungsschächte oder Entlastungsventile — mit der Möglichkeit erhöhter Beanspruchungen rechnen muß, wenn plötzliche Abstellungen der Rohrleitung an den Turbinen eintreten. Dem Rosten des Eisens muß durch einen sachgemäß aufgebrachten Anstrich nach Möglichkeit entgegengetreten werden.

Überdies bedeutet die Rostgefahr nur eine Frage der Lebensdauer — also den Ersatz der Rohrleitung durch eine neue nach einer gewissen Reihe von Jahren. Bedeutsamer als diese kann im gegebenen Falle bei Wasserkraftanlagen mit hohem Gefälle die Notwendigkeit oder der Wunsch sein, einen unbedingt sicheren Betrieb zu schaffen. Jenes ist eine Kostenfrage, dieses gleichsam eine Existenzfrage des Werkes.

Es sei noch bemerkt, daß man in Amerika vielfach Versuche ge-

1) Journal of the Association of Engineering Societies. Sept. 1904.
2) Gesundheits-Ing. 1905 S. 113.

macht hat mit hölzernen Druckleitungen, die aus Dauben zusammengearbeitet werden, nach der Art, wie man Fässer herstellt. Die Standard Electric Company besitzt z. B. eine solche 850 m lange, 1,20 m weite hölzerne Druckleitung für Wasserkraftzwecke. Es ließen sich viele Beispiele herzählen, wo Holz in Amerika besonders in abgelegenen Gebirgstälern für Rohrleitungen verwandt worden ist. Aber man kommt neuerdings davon ab, nachdem man erkannt hat, daß die Unterhaltung und oftmalige Erneuerung des Holzbaues, dessen Dauer zu 15 bis 20 Jahren angegeben wird, mit der Zeit kostspieliger wird, als ein dauerhaftes Material [1]).

Abb. 20. Eisenbetonrohr von 3,3 m Durchmesser für die Druckleitung der Kraftanlage von Champ (Isère). Innendruck bis 2 Atm.

Man stellt in Amerika und Frankreich Druckrohre öfters auch in Eisenbeton her. Solche Rohre werden, nachdem das Eisennetz an Ort und Stelle in die Rohrlinie eingebaut ist, mit inneren und äußeren Holzformen umschlossen, in die der Beton eingestampft wird, so daß das Netz der Eisenteile ganz in Beton eingebettet liegt (Abb. 20). Für die genaue Lage des Eisens lassen sich die statischen Druckverhältnisse in den Wandungen eines solchen Hohlkörpers sehr wohl berücksichtigen [2]).

Neben der schon oben [3]) erwähnten Kraftanlage von Champ bietet

1) Eng. Record. 1905 II S. 263.
2) Eng. Record. 1905 I S. 190.
3) S. 45.

hierfür ein weiteres Beispiel aus Frankreich das Kraftwerk Entraygues bei Toulon, das eine 500 m lange Eisenbetonleitung von 2,90 m Durchmesser für 15 m Innendruck besitzt[1]).

Für die Verbindung der Rohre ist selbst bei hohen Gefällhöhen die Muffendichtung meist üblich (Abb. 21). Sie hat den Vorzug großer Einfachheit in der Herstellung und einer gewissen Nachgiebigkeit bei etwaigen Senkungen und Erschütterungen. Der Spielraum in den Muffen gestattet es, mit den geraden, 4 m langen Stücken sich mit kleinen Halbmessern bei etwa 50 cm Lichtweite bis zu 75 m, bei etwa 120 cm Lichtweite

Abb. 21. Gebirgsstollen mit gußeisernen Muffenrohren von 350, 400 und 700 mm Durchmesser für 5 Atm. Innendruck. (Wasser- und Elektrizitätswerk Solingen.)

bis zu 125 m herab sowohl im wagerechten wie im senkrechten Sinne den Gestaltungen des Geländes anzupassen, sodaß sog. Kurvenstücke meist entbehrlich sind. Für kleinere Halbmesser braucht man entsprechende Krümmerfassonstücke. Flanschenverbindung mit Gummiringeinlage bietet bei hohem Innendruck größere Betriebssicherheit; aber man nimmt von ihrer Verwendung im allgemeinen Abstand, weil die Flanschenrohre höher im Preise stehen als die Muffenrohre und weil die Flanschenver-

1) Le Génie Civil. Febr. 1906.

bindung zu wenig Anpassungsfähigkeit an das Gelände besitzt und unnachgiebig bei Erdbewegungen ist. Man fertigt zwar die Flanschen in beliebigen Winkeln, immerhin ist dadurch doch nicht jene Freiheit der Bewegung geschaffen, wie sie die Arbeit des Verlegens erwünscht macht. Wohl aber finden die Flanschenrohre in Innenräumen Verwendung, sowie in Stollen und überall dort, wo man auf eine peinlich genaue Lage der Rohre auf entsprechenden Fundamentunterlagen bedacht zu nehmen für nötig hält (Abb. 11).

Rohrleitungen bis zu 10 Atm. Innendruck werden in der üblichen Weise mit Hanfstricken, Bleiverguß und Bleiverstemmung gedichtet. Neuerdings ist statt des Bleigusses eine Art Bleiwolle empfohlen worden, die in kaltem Zustande verstemmt wird. Diese Abdichtung mag bei Verlegungsarbeiten in nasser Baugrube ihre Vorteile haben und die Arbeit erleichtern. In Bögen wird das Verstemmen der Bleiwolle an der eingeengten Seite der Muffe schwierig und für hohen Druck scheint sie nicht wohl geeignet zu sein. Bei Gefällen über 100 m tut man gut, besondere Sicherungen für die Bleiabdichtung zu treffen. Man erweitert dann die Muffen nach innen, so daß der Bleiversatz einen keilförmigen Querschnitt erhält, und versieht die Muffe mit Rillen zum festeren Anhaften des Bleies. Dabei wird die Bleidichtung durch den Innendruck fester eingedrückt. Allein auch diese Anordnung hat — wie der Betrieb erwiesen — nicht immer genügt, um bei Gefällen von 170 bis 200 m ein Hinaustreiben des auch im kalten Zustande immerhin nachgiebigen Bleies zu verhindern. Jedenfalls empfiehlt es sich, die Keilform recht stark auszubilden. Um noch weitere Sicherheit zu haben, bringt man ringförmige Schellen zu beiden Seiten der Muffe an, die mit Schrauben zusammengehalten werden und ein Austreten des Bleies verhindern. Man hat in der Schweiz bis zu 600 m Gefällhöhe damit gute Erfahrungen gemacht [1]).

Bei Abweichungen aus der axialen Lage oder beim Erklimmen steiler Hänge ist es gut, die Muffen durch Steinbettung, Unter- bzw. Einmauerung, Einbetonierung oder Verankerungen an den Muffen in ihrer Lage zu sichern.

---

1) Über Hochdruckleitungen vergleiche man: Z. d. V. d. Ing. 1905 S. 1653. — Verhandl. d. Ver. zur Beförd. des Gewerbefleißes v. 4. 1. 1904. — Journal f. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung. 1903 S. 948. — Schwarz, Welches Rohr verwende ich? u. a. m. Über Rohrverbindungen: Zeitschr. »Stahl und Eisen« 1906 S. 155, Journal of the association of Engineering societies. Sept. 1904, u. Z. d. V. deutsch. Ing. 1905 S. 1256.

Bei den amerikanischen Ingenieuren stehen Bleidichtungen nicht in der Gunst. Zwar verkennt man nicht den Vorzug ihrer Billigkeit und ihrer leichten Abdichtung bei Leckwerden, immerhin hält man nicht für geraten, damit Druckhöhen von 200 bis 220 m zu übersteigen. Für höhere Pressungen werden genietete oder Flanschenverbindungen vorgezogen, wobei die Flanschen als Lappen den Rohren aufgenietet sind. Aufgeschweißte Flanschen werden als eine ideale Verbindung für hohe Pressungen bezeichnet.

Bei Rohrleitungen, die in der Erde eingebettet sind, werden Ausdehnungsvorrichtungen in der Regel nicht angeordnet. Für die geringen Längenänderungen bieten die Krümmungen und die Flach- und Tiefpunkte der Linienführungen die Möglichkeit genügenden Spielraums. Bei langen freiliegenden Rohrstrecken dagegen ordnet man federnde Ausgleiche oder Ausdehnungseinrichtungen nach Art von Stopfbüchsen (Druckleitung des Jungfraubahnkraftwerkes bei Lauterbrunn) an. Ebenso sind bei der Druckleitung des Elektrizitätswerkes Kubel (Schweiz) gußeiserne Stopfbüchsen mit Hanfdichtung vorgesehen[1]). S. auch Abb. 11.

Sicherungen an Druckleitungen.

Die an Druckrohrleitungen und Stollen von größerer Längenausdehnung notwendigen Einrichtungen zur Verhütung von Leerlaufen, unzulässigen Drucksteigerungen und Geschwindigkeitsänderungen werden selbsttätig wirkend gemacht. Ventile zu ersterem Zweck werden angebracht unmittelbar an der Abzweigung der Rohrleitung vom Sammelbecken oder einem sonstigen Behälter, bei langen Leitungen wohl auch in gewissen Zwischenstrecken in der Rohrleitung selbst. Der Rohrschluß tritt ein, sobald bei einem Rohrbruch ein gewisses Maß an Geschwindigkeit überschritten ist, infolge der vermehrten Stoßwirkung des Wassers. In Verbindung hiermit und oberhalb des selbsttätigen Abschlusses empfiehlt es sich, ein Sicherheitsventil einzubauen, das den entstehenden Rückschlag entlastet. Solche Ventile, welche sich bei zu starkem Druck selbsttätig öffnen, kann man auch auf den Bergkuppen anordnen, wenn zu fürchten ist, daß hier bei zu großer Wassergeschwindigkeit ein Vakuum entsteht und dieses bei plötzlichem Abschluß aufgehoben wird, so daß ein starker Wasserschlag erfolgt.

---

1) E. T. Z. 1904 Heft 8 u. 9.

Außerdem werden in langen Rohrleitungen wohl auch Vorrichtungen angeordnet, die den Zweck der Regulierung der Geschwindigkeit haben. Diese kann dann ein gewisses Maß nicht überschreiten, um eben jene Störung des ruhigen Wasserlaufs in der Leitung nicht gewaltsam auftreten zu lassen.

Vielfach kommt hierbei Druckwasserbetrieb zur Bewegung der Schieber zur Anwendung, da man in diesen Leitungen über hohen Druck an sich verfügt. Für Abschlußschieber, die vom Kraftwerke weit entfernt liegen, ist mit Vorteil elektrische Fernbewegung verwandt worden. Ebenso wird elektrische Fernmeldung, um in dem Kraftwerk den Wasserstand an Wehrüberläufen, in den Staubecken und Hochbehältern anzuzeigen, neuerdings viel verwertet und ist geeignet, den gesamten Betrieb zu zentralisieren, wodurch er übersichtlich und sicher gestaltet wird.

Tritt im Krafthause eine rasche Verminderung der Turbinenleistung ein, so können die bei Absperrung der Rohrleitung auftretenden Schwingungen der Wassersäule gefährliche Drucksteigerungen hervorrufen, die am unteren Ende der Leitung am stärksten zur Entfaltung kommen. Sollen die dabei auftretenden Spannungen durch das Rohr selbst aufgenommen werden, so sind übermäßig verteuernde Verstärkungen der Rohrwandungen erforderlich. Um diese zu vermeiden, werden bei längeren Druckrohrleitungen in der Nähe des Krafthauses besondere Sicherheitsvorrichtungen getroffen. Als solche sind zu nennen:

1. Windkessel,
2. Standrohre,
3. Sicherheitsventile mit Gewichts- oder Federbelastung,
4. Selbsttätig wirkende Druckregulatoren, die einen Leerlaufschieber öffnen oder abschließen, je nach dem Drucke in der Leitung.

In den Windkesseln soll die Energie des in Bewegung befindlichen Wassers durch Kompression der Luft eine Ausgleichung finden. Diese Vorrichtung hat sich jedoch nicht bewährt. Unter hohem Druck saugt das Wasser die darüberstehende Luft auf und ein stetes Nachfüllen von Luft, das für das Betriebspersonal sehr lästig ist, ist notwendig. Man hat die Windkessel deswegen oft außer Betrieb gesetzt, und sie finden heute im allgemeinen keine Anwendung mehr. Man hält sie für den Regulatorenbetrieb sogar für schädlich.

Die Standrohre werden so angeordnet, daß sie mit der Wasserspiegelhöhe des Staubehälters, aus dem die Rohrleitung hergeleitet ist,

abschließen oder darüber hinausragen. Im ersteren Falle fließen sie bei jeder Schwankung über, im letzteren Falle verzehrt sich die lebendige Kraft des Wassers in der Hebung der Wassersäule des Standrohres. Dadurch entstehen in jedem Falle Schwingungen der Wassersäule und Spannungen im unteren Teile der Rohrleitung, die dem Gewicht der Wassersäule entsprechen. Eine vollständige Entlastung der Rohrleitung schaffen also die Standrohre nicht.

Einige Beispiele seien hier angeführt. Bei der Rohrleitung des Elektrizitätswerkes an der Sihl (Schweiz) hat man zur Aufhebung dieser schädlichen Stoßwirkungen beim plötzlichen Schluß der Turbinen etwa 157 m oberhalb des Kraftwerkes einen senkrechten Luftschacht in Form eines 2,20 m weiten offenen Eisenrohres angelegt. Die Druckleitung hat 1,4 m Durchmesser und entwickelt Wassergeschwindigkeiten bis zu 2 m. Die Oberkante des Luftschachtes liegt 6 m höher als der Spiegel des Kraftwasser spendenden Weihers [1]). Zu gleichem Zwecke ist am Elektrizitätswerke der Stadt Davos oberhalb der Abzweigungen im Turbinenhause auf das Druckrohr ein Windkessel von 12 m Höhe aufgesetzt. Das Rohr hat 2000 m Länge bei 700 mm Durchmesser und 100 m Gefälle.

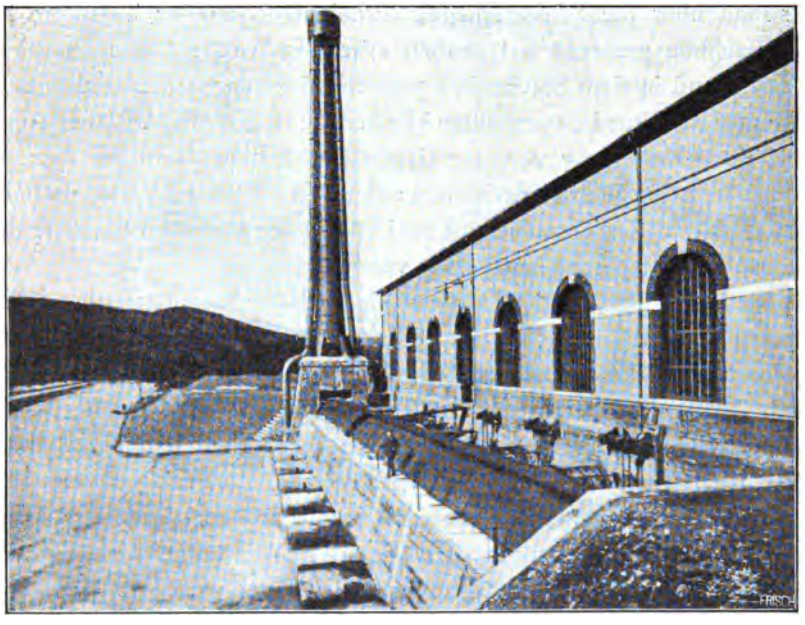
Der 3 km lange, 6,5 qm weite Druckstollen an der Urfttalsperre hat an seinem unteren Ende ebenfalls einen Schacht, in dem beim plötzlichen Abstellen der Hochdruckturbine die lebendige Kraft der im Stollen fließenden Wassermenge sich durch Ansteigen vernichten kann.. Zur größeren Sicherheit ist dieser Schacht mit einem frei ablaufenden Überlauf versehen (Abb. 16). Ähnliche Einrichtungen zum Ausgleich der Druckschwankungen besitzt die Kraftanlage von Champ (s. S. 46). Das untere am Krafthause angeordnete Standrohr ist in Abb. 22 zur Darstellung gebracht.

Die Sicherheitsventile werden mit der Gewichts- oder Federbelastung so bemessen, daß ein Öffnen eintritt, wenn der Druck an der Rohrleitung um 10 bis 15 v. H. gestiegen ist. Diese Ventile sind konstruktiv in den verschiedensten Anordnungen vorhanden, und es ist ihre Herstellung ein Spezialgebiet einzelner Maschinenfabriken.

Die Druckerhöhungen können bei einem Schluß, der sich in wenigen Sekunden vollzieht, bis zu 50 v. H. des hydrostatischen Druckes der

1) Holz, Über Wasserkraftverhältnisse in Skandinavien und im Alpengebiet.

Rohrleitung betragen. Dieses kann durch Regulatoren verhindert werden, die bewirken, daß der Abschlußschieber eine langsame Bewegung macht und eine allmähliche Absperrung von 0,5 bis 1 Minute herbeiführt. Solche Strahlablenkungsregulatoren bestehen aus zwei Reguliereinrichtungen. Die eine veranlaßt eine Strahlablenkung derart, daß



Nach Eng. Rec. 1905.

Abb. 22. Kraftwerk zu Champ (Isère) mit 35 m hohem Standrohr zum Ausgleich der Druckschwankungen in der Rohrleitung.

bei plötzlichem Abschluß der Turbinen in 1 bis 2 Sekunden die Wasserentnahme aus der Rohrleitung sich nur langsam verringert. Diesen langsamen Abschluß vollzieht ein zweiter Regulator, so daß unnötige Wasserverluste möglichst vermieden werden[1]).

1) Näheres: Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1905 S. 417 und Wagenbach, Turbinenanlagen.

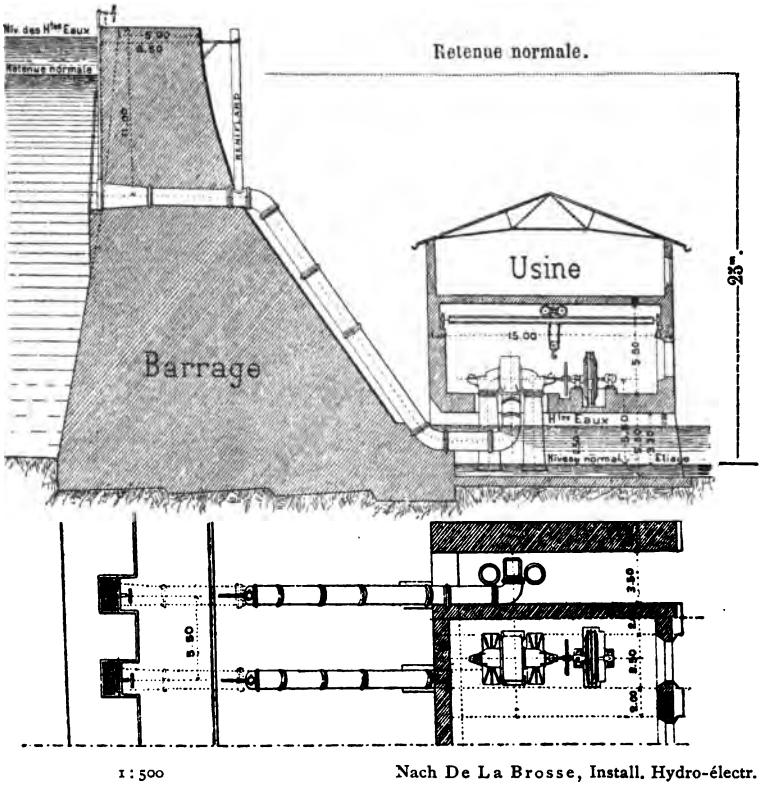
Gewinnung von Gefällhöhe durch Aufstauung in Sammelbecken.

In den Sammelbecken findet neben der Ausgleichung des Wasserabflusses eine Gewinnung von Kraftgefälle dadurch statt, daß der Schwerpunkt des gestauten Wassers gehoben wird. Die Erfahrungen, die man über die Wasserspiegelschwankungen an der Talsperre im Eschbachtale gemacht hat, haben erkennen lassen, daß der mittlere Wasserstand in dem Staubecken während des ganzen Jahres nicht sehr tief unter den Stand des gefüllten Weihers zu sinken pflegt. Naturgemäß wird diese Bewegung von der Größe des Beckens und der Art des Wasserzuflusses und der Entnahme abhängen. Aber man wird rechnen dürfen, daß im Durchschnitt gut zwei Drittel der gesamten Stautiefe des Beckens als mittleres Nutzgefälle verwertbar wird.

Dieses Eigengefälle der Talsperren kann dadurch noch gesteigert werden, daß im unteren Beckenraum ein »eiserner« Bestand geschaffen wird in Form eines Wasservorrates, der im laufenden Betriebe stets unberührt bleibt (Abb. 23). Neben der dadurch erzielten Gefällgewinnung ist ein solcher Raum für die Ausgleichung der Gefällschwankungen vorteilhaft, ein Umstand, der für den Betrieb der Turbinen von Bedeutung ist. Man kann bei den gewöhnlichen dreieckförmigen Talquerschnitten rechnen, daß mit Drangabe des unteren Drittels des Beckenraumes mehr als zwei Drittel der gesamten Stauhöhe ständig gewonnen wird. Die dabei entstehenden Mehrkosten müssen ihre Deckung in dem Wert der vermehrten Kraft finden. Ertragsberechnungen werden meist dartun, daß dies der Fall ist, sofern für die Kraft ein preiswerter Absatz vorhanden ist. Der Umstand, daß an sich eine vergrößerte mechanische Arbeitsleistung für das wirtschaftliche Leben geschaffen wird, darf dabei nicht außer acht bleiben, ebenso die Sicherheit, die ein solcher »eiserner« Bestand als letzte Aushilfe in ganz außergewöhnlich trocknen Jahren darzubieten vermag.

Eine weitere Frage ist, ob die Zerlegung eines großen Stauraumes in Einzelbecken — sofern die natürliche Geländegestaltung dies gestattet — für die Ausnutzung der Wasserkraft vorteilhafter ist als die Ausführung eines einheitlichen Weihers. Diese Entscheidung kann Bedeutung haben, wenn der volle Verkauf der Kraft aus der Talsperre zunächst nicht zu erwarten ist. Der allmähliche staffelartige Ausbau der Becken würde

unter Schonung des gegenwärtig aufzuwendenden Geldes es möglich machen, der Entwicklung des Unternehmens schrittweise zu folgen. Eine solche Teilung des Niederschlagsgebietes ist z. B. vorhanden bei der neuen Anlage für die Wasserversorgung der Stadt Birmingham (England). Das gesamte Niederschlagsgebiet von 184 qkm enthält 6 Becken



1:500 Nach De La Brosse, Install. Hydro-électr.

Abb. 23. Querschnitt der Talsperre mit Kraftwerk zu Queuille bei Clermont im Sioule-Flusse. Kraftleistung: 5000 PS.

von 6 bis 35 Mill. cbm Stauinhalt, wovon drei am Elan-Fluß und drei an seinem Nebenflusse Claerwen übereinander errichtet und geplant sind[1]).

Wenn man erwägt, daß große Becken sich gemeinhin für die Einheit (cbm) des gestauten Wassers billiger stellen als kleine Weiher und einen

1) Engineering 1904 II S 103. Solche Zerlegung hat auch die Talsperrenanlage der Stadt Solingen (s. Abschn. V, 2, H) und das Wasserversorgungs- und Kraftwerk der Stadt Genua. (Allgem. Bauz. 1906 S. 37.)

besseren Ausgleich des Wasserabflusses und der Gefällhöhen ermöglichen, sowie daß bei jenen ein einheitliches Zentralkraftwerk geschaffen werden kann, während im anderen Falle Einzelwerke mit dezentralisiertem Betriebe errichtet oder lange kostspielige Rohrleitungen nach dem Zentralwerke hergestellt werden müssen, so wird ein einheitliches Becken vorteilhafter erscheinen. Immerhin wird man hier keine allgemein gültige Regel aufstellen können. Die Untersuchung wird bei gegebenen Vorbedingungen an der Hand eines Wasserwirtschafts- und Betriebsplanes und auf der Grundlage von vergleichenden Kosten- und Ertragsberechnungen erfolgen müssen. Als Aushilfsmittel kann in Betracht kommen, die Abmessungen der Sperrmauer für ein großes Becken nach Höhe und Sohlenbreite für den endgültigen Ausbau festzulegen, aber die Mauer vorläufig nur in teilweiser Höhe herzustellen und die Vollendung der künftigen Entwicklung zu überlassen. Vom Standpunkte der Technik, d. h. soweit die Güte des Mauerkörpers der Talsperre, die dadurch in gewissem Grade eine trennende Schicht im Inneren erhält, in Betracht kommt, ist ein solches Verfahren allerdings nicht gerade erwünscht. Und es liegt die Gefahr vor, daß durch den unvollständigen Ausbau der vorhandene Wasserreichtum für alle Zeiten unvollständig ausgenutzt bleibt. Das bedeutet aber die Vergeudung nationalen Gutes.

C. Das Kraftwerk und seine Einrichtung.

Die Lage des Kraftwerkes.

In dem Kraftwerk findet die Umformung der natürlichen Energie in eine für mechanische Arbeitsleistungen verwendbare Form statt. Die Stätte dieser Umsetzung ist innerhalb enger Grenzen an die Scholle gebunden. Das Vorhandensein eines hohen Gefälles im Gebirge oder eine passende Geländegestaltung am unteren Flußlaufe legen, ohne daß dem Konstrukteur viel Wahl bleibt, die Lage des Kraftwerkes fest. Hier treten jene die Platzfrage bei einem Dampfwerk beeinflussenden Gesichtspunkte, wie die Rücksichtnahme auf die Grundstückspreise, die Sorge für eine gute Kohlenanfahrt und Speisewasserversorgung der Kessel zurück. Die billigen Preise des Grund und Bodens — gegenüber städtischen Grundrenten — kommen den meist abgelegenen Wasserkraftunternehmungen zugute, und dieser Vorteil vor Wärmekraftwerken gleicht mehr oder weniger die Kosten und die Kraftverluste der Fernleitung aus. Soweit für

die Lage von Wasserkraftwerken ein Spielraum gelassen ist, wird es wünschenswert sein müssen, mit der Krafterzeugung so nahe als möglich an die Verbrauchsstellen zu rücken. Der Gesamtbetrieb bei der Anordnung des Kraftwerkes im Schwerpunkt des Verbrauchs wird zentralisiert, der Absatz der Kraft erleichtert und bei etwaiger elektrischer Übertragung werden die Kraftverluste und Leitungskosten am geringsten. Man kommt hierbei mit niedrigen Spannungen aus, wenn ein kleines Verteilungsnetz von wenigen Kilometern Durchmesser zu versorgen ist. Die Lage des Kraftwerkes in Entfernung von mehr als 3 bis 4 km nötigt dazu, hohe Spannungen zu verwenden und den Strom im allgemeinen in Form von Wechselstrom nach dem Schwerpunkt des Verbrauchs zu leiten und dort nach Umformung mit kleiner Gebrauchsspannung (etwa 220 Volt) an die Abnehmer abzugeben. Die Einzelverteilung kann dann in der gleichen Stromart erfolgen oder es tritt die Umformung in Gleichstrom ein.

Die Lage des Kraftwerkes ist im allgemeinen durch die Vorflut eines natürlichen Wasserlaufes bestimmt (Abb. 9, 10, 11, 12 u. 18). Die Turbinen müssen nahe dem Unterwasser und dürfen höchstens um das Maß des Sauggefälles von etwa 6 m darüber stehen, wenn die volle Ausnutzung des Gesamtgefälles stattfinden soll. Bei Triebwerkskanälen wird es je nach der Art des Geländes zweckmäßig sein, das Kraftwerk so anzuordnen, daß dabei die Bewegung der Erdmassen ein Minimum wird. Man wird es vermeiden, durch den tiefliegenden Unterkanal kostspielige Einschnitte zu verursachen, aber auch den Oberwasserkanal nicht gern im Auftrage anlegen wollen, weil dadurch die Gefahr von Sickerverlusten herbeigeführt wird. Die Gunst der Geländeverhältnisse wird man dabei naturgemäß nach Möglichkeit ausnutzen. Bei dem Elektrizitätswerk der Stadt Bruck (Österreich) ergab sich z. B. die Lage des Kraftwerkes am Betriebskanal durch einen plötzlichen Geländeabfall, welcher es ermöglichte, den Oberwasserkanal vollkommen im Einschnitt zu führen[1]).

Die Einrichtung des Kraftwerkes.

Die baulichen Einrichtungen des Krafthauses hängen von dem Zweck des Werkes ab. Oft findet man bei neueren Wasserkraftanlagen den Betrieb der Wasserhebung und elektrischen Krafterzeugung vereint, so

1) Z. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1905 S. 333.

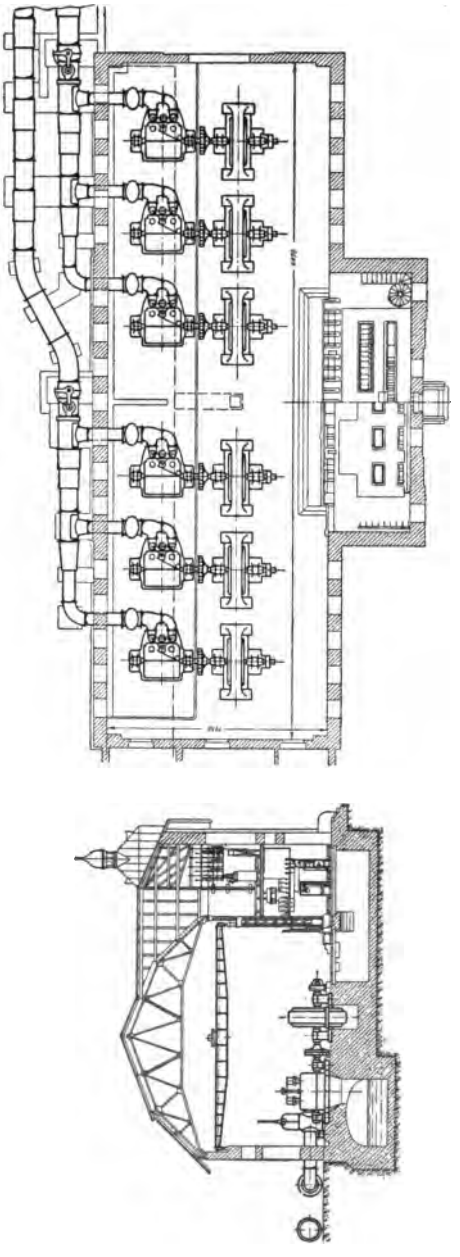
z. B. bei einigen Talsperrenanlagen in Rheinland und Westfalen (Solingen, Ennepe). Das Kraftwerk der Stadt Zürich ist hier ebenfalls zu nennen. In der Kraftanlage der Stadt Nordhausen a. H. ist diese doppelte Ausnutzung des Wassers als Trink- und Kraftwasser hintereinander geschaltet. Das im Sammelbecken gestaute Wasser treibt zunächst unter Ausnutzung eines Gefälles von 192 m eine Turbine, um dann nach dem Hochbehälter abzufließen, von wo es sich in natürlichem Gefälle in das Leitungsnetz der Stadt verteilt. Die gleiche doppelte Ausnutzung zeigt die Wasserversorgungs- und Kraftanlage der Stadt Genua[1]).

Eine verschiedene Ausbildung des Unterbaues im Krafthause ist bedingt, je nachdem das Werk mit Hochdruck- oder Niederdruckturbinen arbeitet. Jenen wird das Kraftwasser durch Rohrleitungen zugeführt, sie stehen über dem Unterwasserspiegel, jederzeit zugänglich (Abb. 24). Die Niederdruckturbinen befinden sich unter dem Wasserspiegel des Oberkanals (Abb. 25). Die Hochdruckturbinen sind in eisernen Gehäusen untergebracht, die Niederdruckturbinen stehen frei im Wasser; die Turbinenkanäle werden hier in Mauerwerk oder neuerdings viel in Beton und Eisenbeton hergestellt und bedingen im allgemeinen einen stärkeren Unterbau und umfangreichere Gründungs- und Wasserbauten als die Abflußkanäle der Hochdruckturbinen. Eine Vereinigung beider Betriebssysteme besitzt das Kraftwerk der Stadt Solingen, das in Abb. 26 bis 30 dargestellt ist. Aus diesen Abbildungen sind auch die Einrichtungen ersichtlich, die zur Beseitigung der Ablagerungen des sehr schlammhaltigen Wupperwassers oberhalb des Turbineneinlaufs getroffen sind.

Die Größenbemessung des Kraftgebäudes ist weiterhin von der Größe der vorhandenen Kraft abhängig. Während man aber bei der Anlage von Dampfwerken den Ausbau nach dem voraussichtlichen Verbrauch einrichtet, wird der Weg bei Wasserkraftentwürfen ein etwas anderer sein müssen. Man wird hier meist — es sei denn, daß es sich um sehr große Wasserkräfte von vielen Tausenden PS. handelt — die Wasserbauarbeiten (Wehre, Kanäle usw.) und auch den Grundriß des Krafthauses voll ausbauen, auch wenn die ganze Ausnutzung gegenwärtig noch nicht zu erwarten ist. Die Maschinen- und elektrischen Anlagen werden dann dem späterhin steigenden Bedarf angepaßt (Abb. 24 u. 41). Für den Ausbau der letzteren Einrichtungen wird man den allgemein gülti-

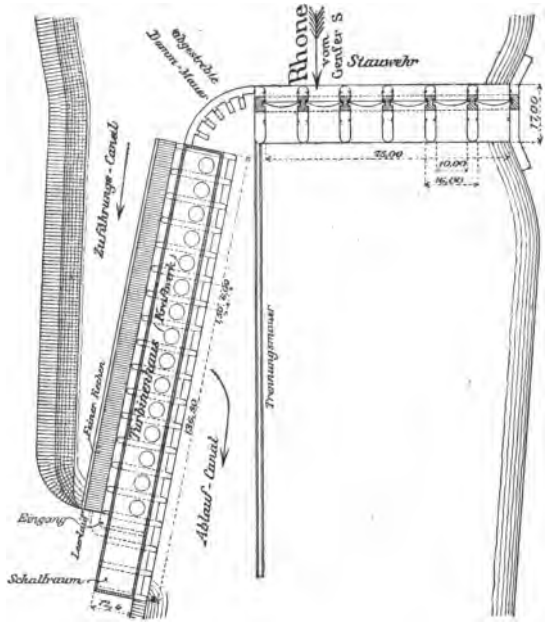
1) Allgemeine Bauz. 1906 S. 31.

gen Gesichtspunkt nicht außer acht lassen dürfen, daß es sich empfiehlt, hohe Spitzen des Verbrauchs in einzelnen Betriebsstunden nicht durch



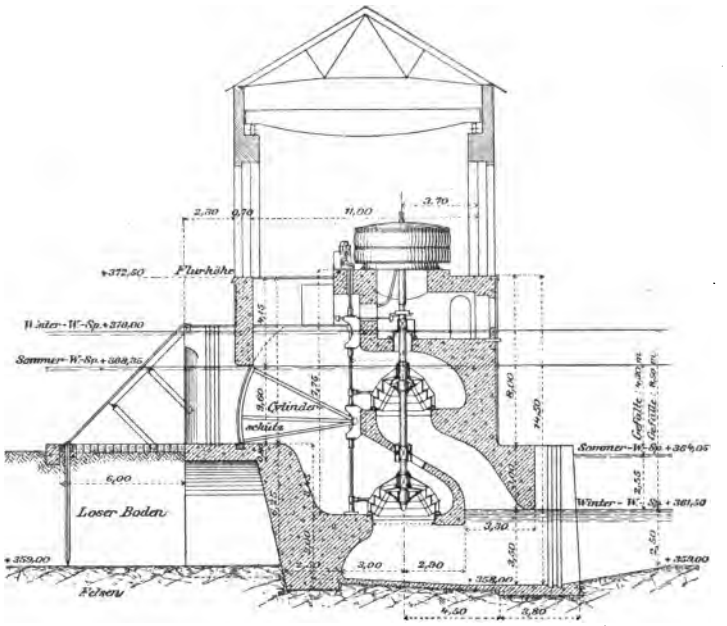
1:500 Nach Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing.

Abb. 24. Hochdruck-Turbinenanlage der Sillwerke bei Innsbruck.
Gesamtleistung: 15 000 PS. mit sechs Turbinen von je 2500 PS. Nutzgefälle: 182 m. Zurzeit sind zwei Turbinen und ein Druckrohr eingerichtet. System: zwei Peltonräder mit dem Generator auf wagerechter Welle sitzend.



1 : 2250.

Lageplan.

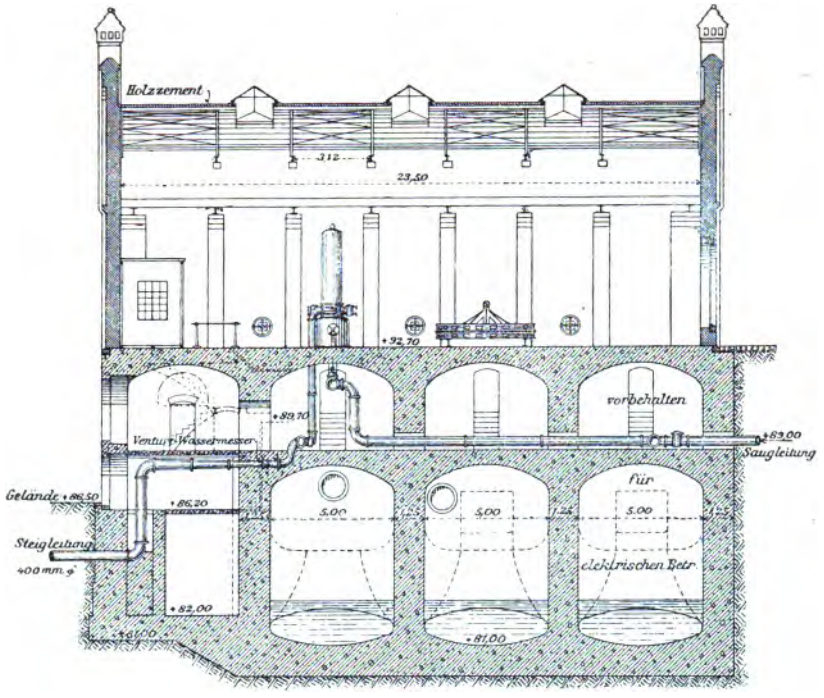


Turbinenhaus Chèvres. Querschnitt 1:350.

Nach Zeitschr. f. Bauw.

Abb. 25. Niederdruck-Turbinenanlage von Chèvres bei Genf.

15 Doppelturbinen von je 1000 PS. mittl. Leistung. Das durch Aufstau der Rhone mittels Schützenwehr gewonnene Gefälle beträgt im Sommer 4,3 m, im Winter 8,5 m. Die Ausnutzung des wechselnden Gefälles geschieht durch staffelförmig aufgebaute Turbinen. Wasserverbrauch der Turbinen: 9 bis 18 cbm/sek.



Schnitt G H durch das Kraftwerk.

Abteilung für Pumpenbetrieb. 1:300 Abteilung für elektrischen Betrieb.

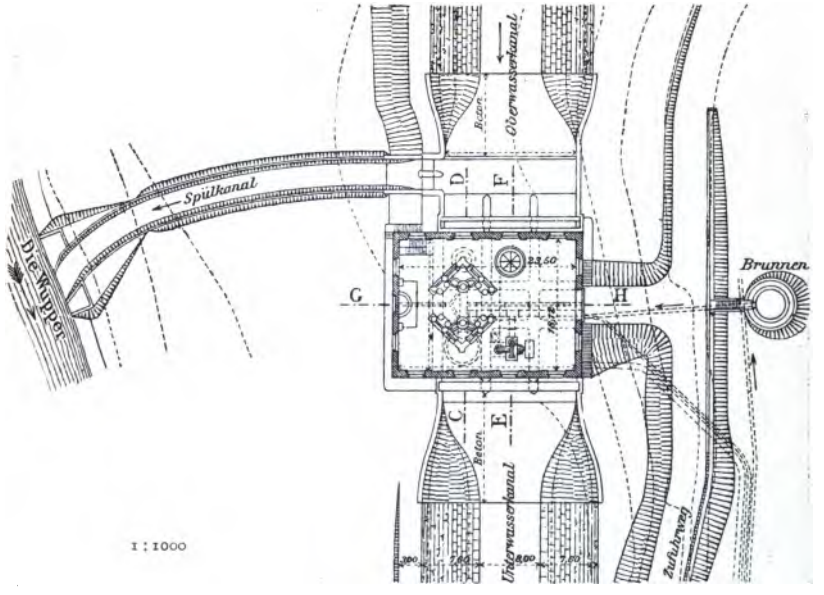


Abb. 26 und 27. Vereinigtes Nieder- und Hochdruckkraftwerk für Wasserhebung und elektrischen Betrieb (Solingen).

Spülkanal zur Beseitigung von Schlammablagerungen vor den Turbinen. Im Schnitt GH Saugleitung für die Zuführung des Trinkwassers zu den Pumpen und Steigleitung nach dem 170 m höher gelegenen Hochbehälter.

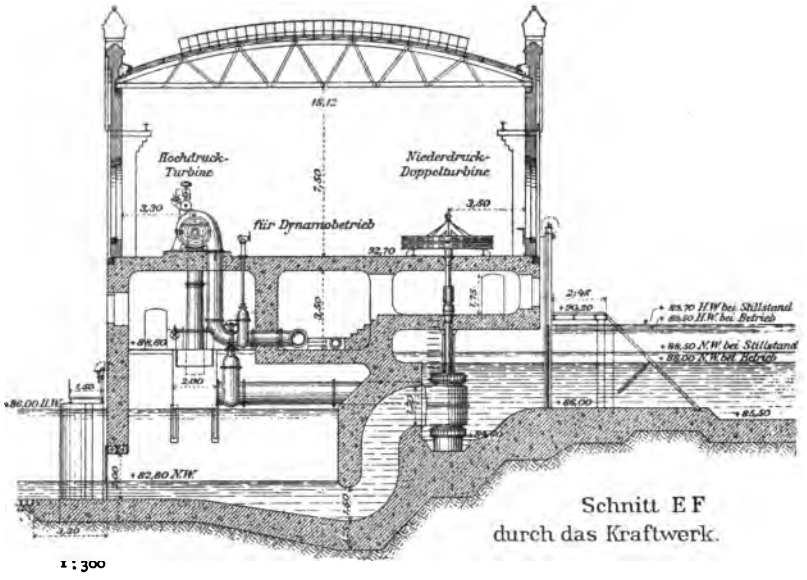


Abb. 28. Vereinigtes Nieder- und Hochdruckkraftwerk für Wasserhebung und elektrischen Betrieb (Solingen).
Mittleres Gefälle: 5 bzw. 50 m. Unterbau bis zur Höhe des Maschinenraumes in Beton hergestellt.

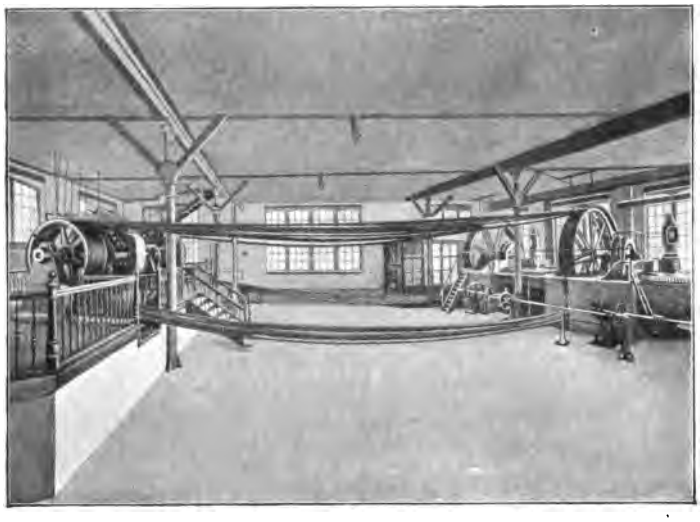
Abb. 29. Einlauf zu den Niederdruckturbinen mit mechanisch betriebener Reinigungsvorrichtung des Rechens (Wasser- und Elektrizitätswerk Solingen).

Maschinen zu versorgen, sondern daß es zweckmäßig ist, in Zeiten geringeren Strombedarfs überschüssige Kraft z. B. in Akkumulatoren aufzuspeichern. Bei solchen Voruntersuchungen über die Kraftleistungen der Maschinen werden Verbrauchsschaubilder, wie sie sich aus dem Betriebe der Elektrizitätswerke ergeben haben, gute Unterlagen für die Beurteilung bieten (Abb. 59). Weiteres hierüber s. auch Abschn. III A.

Abb. 30. Ablauf aus den Turbinen mit Übergang zum Unterwasserkanal (Wasser- und Elektrizitätswerk Solingen).

Nicht unwesentlich verschieden ist die Raumbeanspruchung der Turbinensysteme. Die Form und Größe der Wassermotoren ist durch den Zweck bestimmt, dem sie dienen. Dabei ist von Bedeutung die Schnelligkeit der Umdrehung. Der elektrische Betrieb erfordert eine große Umdrehungszahl oder Umfangsgeschwindigkeit, der Pumpenbetrieb eine langsamere Bewegung. Die größere Schnelligkeit führt zu kleineren Abmessungen. Von Einfluß ist ferner die Art der Kuppelung der Kraft- und Arbeitsmaschinen. Die früher übliche Übertragung durch Zahnrad, Seil (Abb. 31) oder Riemen wird heute vermieden. Man findet allerdings diese Anordnungen noch bei bedeutenden Anlagen, die um das Jahr 1890 und später erbaut sind, und man hat die Zahnradübertragung selbst noch bei neuesten Werken eingerichtet, um bei kleinen Gefällen

die für den Dynamobetrieb erforderliche hohe Umdrehungszahl zu erzielen. Die heute aber allgemein angewandte unmittelbare Kuppelung beider Maschinen, dadurch, daß sie auf einer Welle angeordnet werden, führt im elektrischen wie im Pumpen-Betrieb nicht nur zu bedeutender Raumersparnis und somit Baukostenverminderung, sondern auch zu geringeren Kraftverlusten und zu größerer Einfachheit des Betriebes (Abb. 32, 33 u. 47). Dieser letztere Punkt ist bedeutsam: die Übersichtlichkeit und die Zentralisierung des Betriebes. Für den Ausbau der



Nach einer Denkschrift über die Elektrizitätswerke der Stadt Schaffhausen.

Abb. 31. Kraftübertragung von den Turbinen auf die Dynamos zunächst mittels konischen Rädervorgeleges auf Seilrollen und von diesen mittels Hanfseil auf die Seilrollen der Dynamos. Leistung der Turbine: 350 PS. (Elektrizitätswerk der Stadt Schaffhausen a. Rh.)

Hochdruckwerke empfiehlt es sich daher, die Rohrleitungen mit den Schiebern unter den Fußboden oder in einen seitlichen Anbau zu verlegen, so daß der Verkehr im Maschinenraum nicht behindert wird. Dieser letztere ist möglichst in eine Ebene zu legen und von hier aus ist durch die Reguliervorrichtungen der Gang der Maschinen zu leiten. Die Selbsttätigkeit dieser Regulierungen hat in neuerer Zeit den Betrieb wesentlich vereinfacht und günstiger gestaltet.

Die Auflösung einer großen Wasserkraft in kleine Einheiten und die

Nebeneinanderstellung der Maschinen in einer langen Linie, die eine gute Übersichtlichkeit gewährleistet, bedingt die kennzeichnende Form großer Kraftgebäude; das ist der langgestreckte rechteckige Grundriß (Abb. 8a u. 25). Das führt zu der Frage nach der Größe dieser Einheiten. Während früher der Turbinenbau durch Aufstellen vieler kleiner Krafteinheiten die Gesamtstärke erzielte, geschieht dies heute meist durch wenige Maschi-

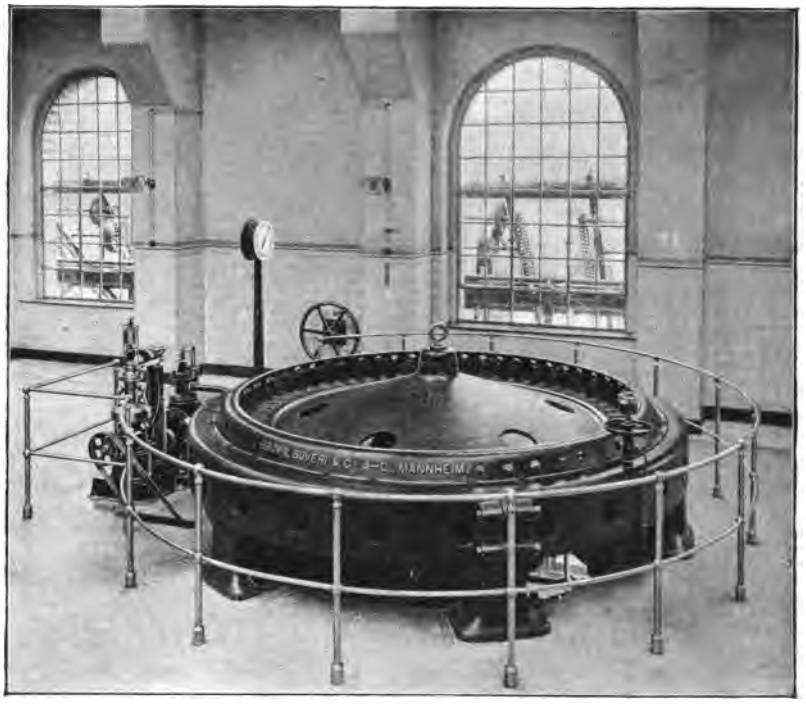


Abb. 32. Drehstromdynamo auf senkrechter Welle mit einer Doppel-Francis-Turbine (s. Abb. 28) gekuppelt. 240 KW. Leistung bei 5300 Volt Spannung und 100 Umdrehungen in der Minute. Großer Durchmesser des Dynamo zur Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit.

nensätze von großer Leistungsfähigkeit, und es ist besonders die amerikanische Wasserkraftausnutzung, an der man diese Entwicklung verfolgen kann. An der großen Kraftanlage von Sault St. Marie (Michigan) ist die Ausnutzung von 46000 PS. noch in 80 Turbineneinheiten von je 580 PS. zerlegt. Demgegenüber muß man sich vergegenwärtigen, daß bei den Werken der Hudson-Fluß-Kraftgesellschaft Einheiten von 4000 PS., bei

der de Sabla-Gesellschaft solche von 8000 PS. und neuerdings Einheiten von 10000 PS. und 10500 PS. bis 12500 PS. am Niagarafall und für die Shawinigan-Kraftgesellschaft zur Anwendung gekommen sind. Auch in Europa ist man in letzter Zeit zu größeren Maschinensätzen bis zu 3000 PS. übergegangen. Als der größte Wasserverbrauch in einer Turbine darf wohl der von 28,5 cbm/sek. im Kraftwerk von Rheinfelden

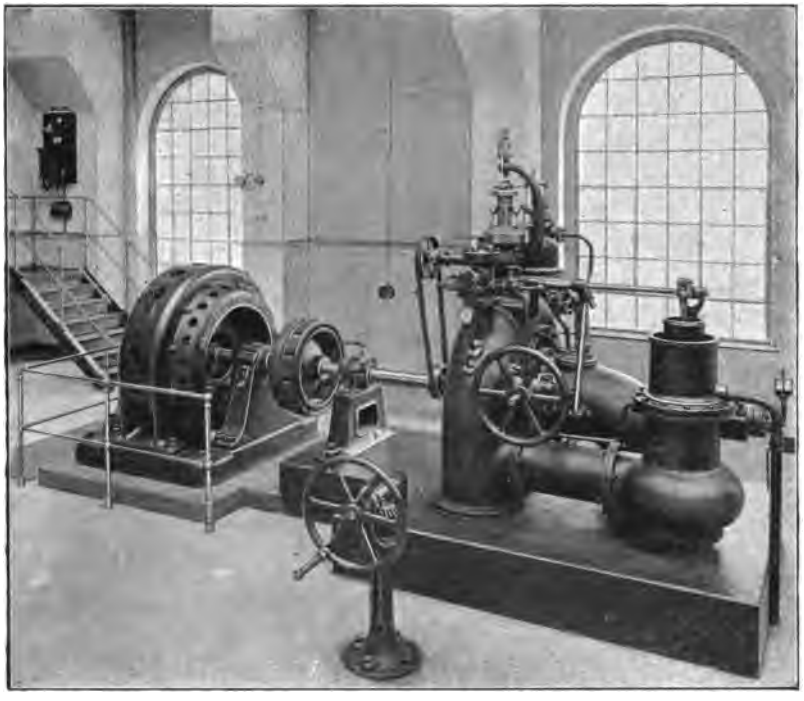


Abb. 33. Francis-Spiralturbine mit Sauggefälle für 50 m mittl. Nutzdruck mit Drehstromdynamo auf wagerechter Welle gekuppelt (Reibungskuppelung).

Leistung: 300 eff. PS. bei 750 Umdrehungen in der Minute (s. Abb. 28). Geschwindigkeitsregulierung selbsttätig durch hydraulischen Regulator, auf dem Turbinengehäuse sitzend.

angesehen werden. Es ist klar, wie sehr durch die Art der Zerlegung der Gesamtkraft das Raumbedürfnis und der Betrieb beeinflußt werden muß. Ein Ausbau mit vielen kleinen Einheiten wird zwar immer bessere Anpassungsfähigkeit an den Wechsel im Kraftbedarf besitzen, und man wird nie soweit gehen können, die ganze vorhandene Wasserkraft mit

einer Maschine zu fassen, es sei denn, daß durch einen Wärmemotor eine Aushilfe sichergestellt ist. Die Tabellen in Abschn. V geben eine Übersicht, in welcher Weise an einer Reihe ausgeführter Anlagen die Zerlegung der Gesamtkraft erfolgt ist, und werden bei allgemeinen Entwürfen zum Anhalt dienen können[1]). Dabei wird man auch die Kosten beachten und sich vergegenwärtigen müssen, daß zwei kleine Turbinen — worauf W. Müller hinweist — etwa 10 bis 20 v. H. mehr kosten als eine große von gleicher Leistung; zudem werden im allgemeinen die Kosten der wasserbaulichen Arbeiten in ersterem Falle größer sein.

Für die vorläufige Größenbemessung der Kraftgebäude wird man die Angaben der nachstehenden Tabelle benutzen können, die aus ausgeführten Anlagen abgeleitet ist.

Tabelle 7. Grundfläche der Kraftgebäude einschl. Nebenräume nach Quadratmetern für 1 PS. der Maschinenstärke.

Maschinenstärke in PS.	Quadratmeter Grundfläche
um 1 000	0,31
2 000— 5 000	0,14
5 000—10 000	0,12
10 000—20 000	0,08

Die Wassermotoren.

Es soll hier nicht auf die Einzelheiten der Wassermotoren eingegangen werden. Nur mag es angebracht erscheinen, einige allgemeine Gesichtspunkte zu erörtern.

Die alten Wasserräder, die das Gewicht des Wassers ausnutzen, haben fast allgemein vor den neueren Turbinenkonstruktionen weichen müssen. Der Größenunterschied zweier solcher Motoren von gleicher Leistungsfähigkeit ist ein außerordentlicher. Damit springt der Vorteil in die Augen, den die Turbinen hinsichtlich des Raumbedürfnisses haben. Die Wasserräder finden jedoch heute immer noch Verwendung für kleine Wassermengen, wo Turbinen nicht mehr am Platze sind.

Für die Wahl des Turbinensystems sind die gegebenen örtlichen Verhältnisse der Wasserkraftanlage, vor allem das Gefälle maßgebend. Allgemein ist heute für kleine Gefälle, herab bis zu 0,5 m und steigend

1) Vgl. auch v. Miller, Die Versorgung der Städte mit Elektrizität. S. 209 und 224, sowie Wagenbach, Turbinenanlagen.

bis 100 und 110 m, die Francisturbine in Gebrauch (Abb. 34)[1]. Die Anlage geschieht im offenen Schacht bis etwa 10 m Gefällhöhe (Abb. 35).

Abb. 34. Laufrad einer Francis-Turbine.

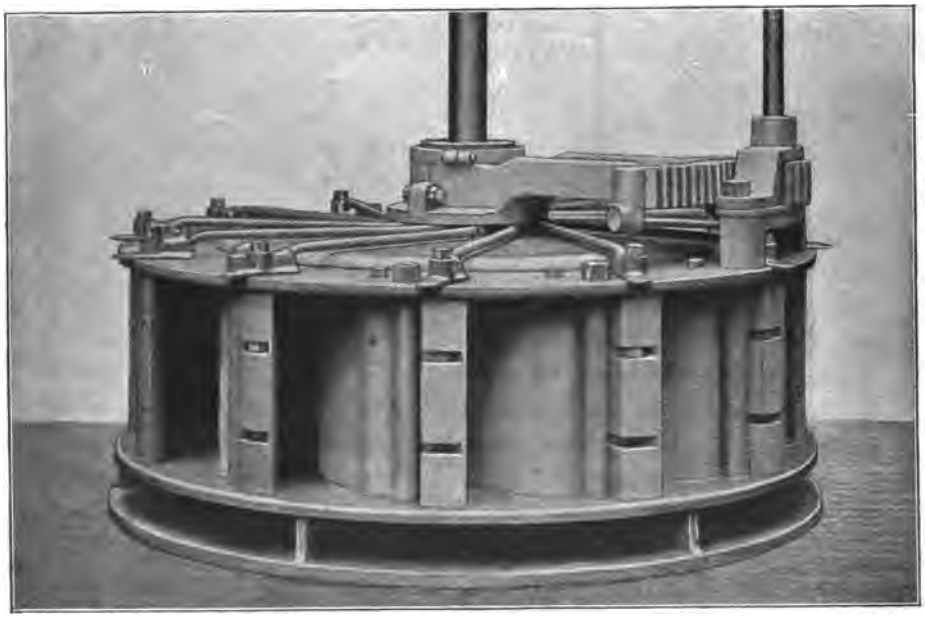


Abb. 35. Francis-Turbine mit senkrechter Welle für kleine und mittlere Gefälle.

1) Abb. 34 bis 37, 39 u. 40 nach Konstruktionen von Briegleb, Hansen & Co.

Von dieser Höhe ab wird die Zuführung des Wassers in offener Leitung für die baulichen Anordnungen der Turbinenkanäle schwierig und man geht zur Druckleitung über. Das führt dann zur Anordnung der Francis-Spiralturbinen in geschlossenem Gehäuse (Abb. 36). Auch bei niederen Gefällen kann dies wünschenswert sein, wenn es sich um die Zuführung des Kraftwassers auf einer größeren Strecke handelt, wie z. B. bei Kraftanlagen an den Schleusengefällen. An der Francisturbine wird neben der guten Ausnutzung von Wassermenge und Gefälle, d. h. neben einem guten Wirkungsgrad, der bis zu 87 v. H.

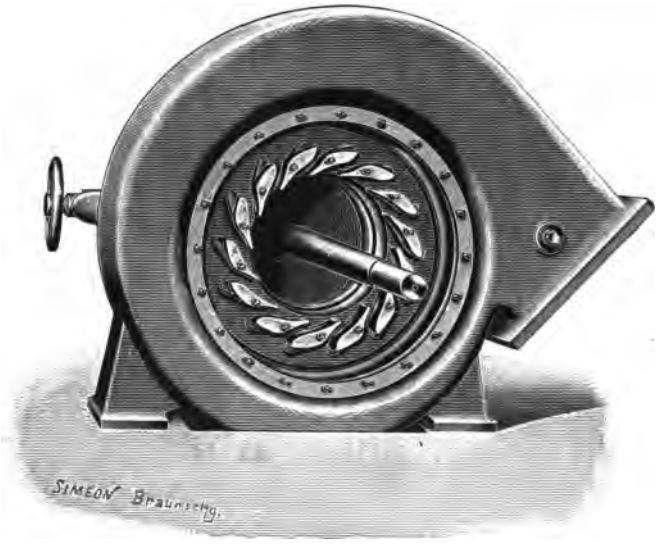


Abb. 36. Francis-Spiralturbine mit wagerechter Welle für kleine und mittlere Gefälle. (Leitraddeckel und Laufrad entfernt.)

gefunden ist, als ein besonderer Vorzug die hohe Regulierfähigkeit hervorgehoben. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Maschine kann durch entsprechende Wahl des Durchmessers oder durch den Aufbau ein oder mehrerer Leit- und Laufräder auf einer Welle für den Bedarf gut eingerichtet werden, sei es für die langsamer gehenden Pumpen oder den Schnellbetrieb der Dynamos (Abb. 37 und 38). Gleich gute Anpassungsfähigkeit besitzt das System an den Wechsel der Wassermengen. Bei neueren Anlagen findet man eine Zerlegung der Maschinenstärke auch auf wagerechter Welle, z. B. bei dem Kraftwerk des Chicago-Entwässerungskanals, wo 6 Räder auf gemeinsamer Achse eine

Gesamtleistung von 6500 PS. erzeugen. Am Ende der Welle befindet sich der Generator. Die Maschinenanlage der Sillwerke hat zwei Peltonräder auf einer Welle mit dem Dynamo (2500 PS.), s. Abb. 24.

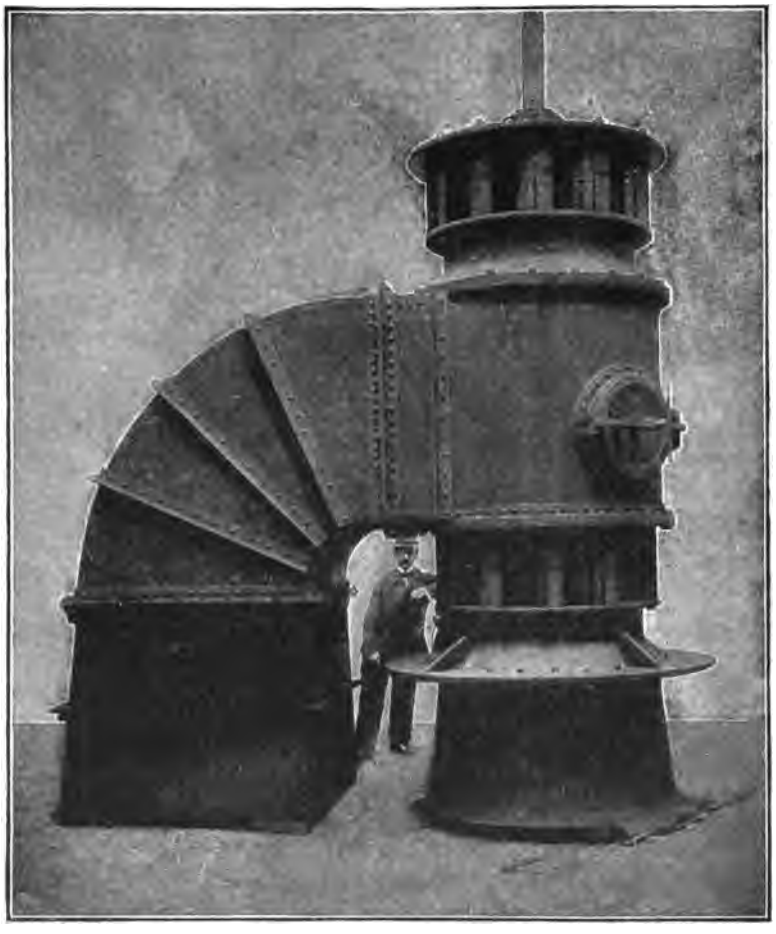
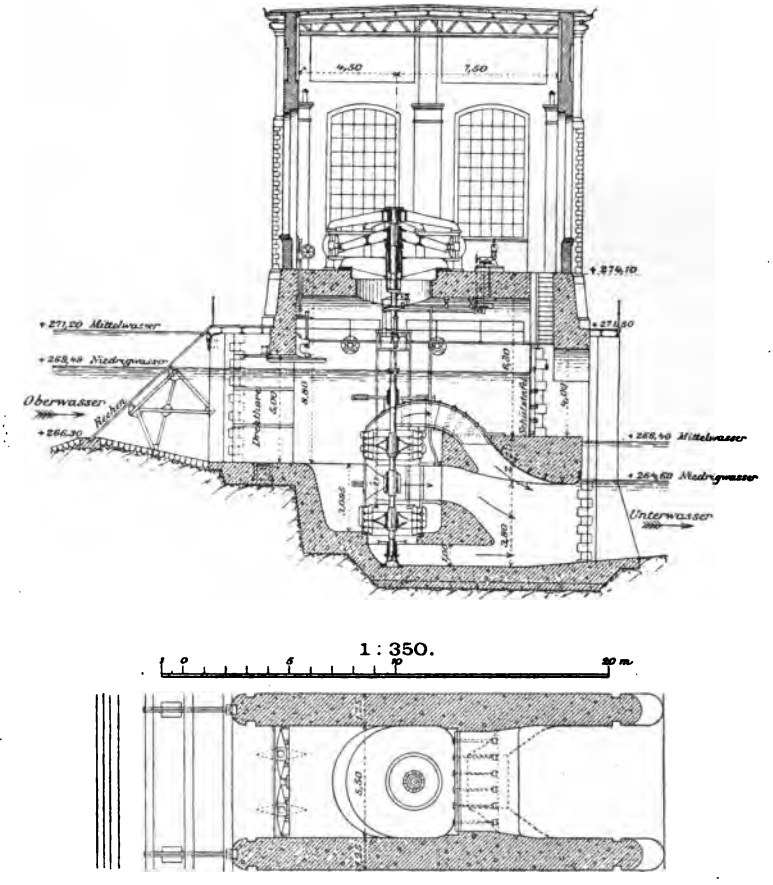


Abb. 37. Doppel- oder Zwillings-Francis-Turbine mit senkrechter Spindel für Einbau im offnen Wasserkasten. Das von der oberen Turbine verbrauchte Betriebswasser wird durch das gekrümmte Saugrohr, das Betriebswasser der unteren Turbine durch das kurze gerade Saugrohr abgeführt.

Für Gefälle über 100 m sind in der Hauptsache Peltonräder (Tangentialräder) in Gebrauch (Abb. 39 u. 40); ihre Nutzwirkung wird zu 80 bis 85 v. H. angegeben und ist besonders vorteilhaft für sehr hohe

Gefälle. Die Leistungsfähigkeit der Peltonräder läßt sich dem Wechsel der Wassermenge und den Schwankungen des Kraftbedarfs ebenfalls gut anpassen. Als ein besonderer Vorzug wird betont, daß man diese Motoren für die kleinsten Leistungen bis herab zu $^1/_{40}$ PS. mit günstiger



Nach Zeitschr. f. Bauwesen.

Abb. 38. Turbinenanlage mit zwei Doppelturbinen (840 PS.) von 55 bis 68 Umdrehungen in der Minute. Zur Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit großer Durchmesser (6 m) des Generators. (Rheinfelden.)

Wirkung anwenden kann. Doch sind auch Krafteinheiten von mehr als zehntausend PS. ausgeführt. Die Konstruktion des Rades ist einfach, zugänglich und leicht ausbesserungsfähig.

Die Wahl hat sich damit außerordentlich vereinfacht, daß sich in der Praxis diese beiden angegebenen Systeme als in erster Linie gebrauchsfähig herausgebildet haben, wiewohl auch andere Bauarten, wie die Girard- und Schwamkrugturbinen u. a. vorkommen. Wenn zwar für die vorläufigen Ermittelungen beim Entwurf des Kraftgebäudes und die Frage nach dem Raumbedarf der Maschinen ausgeführte Anlagen guten Anhalt bieten, so mögen immerhin auch die Untersuchungen von Baashuus in Elektr. Zeitschr. 1905, S. 961 hierbei Dienste leisten, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden kann.

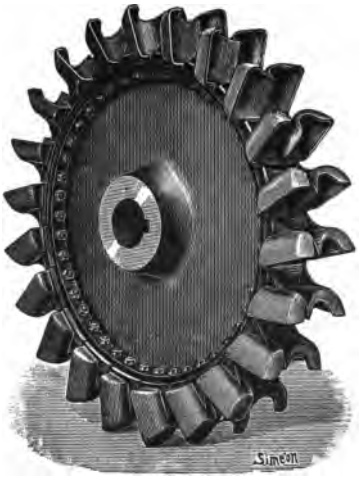


Abb. 39. Peltonrad.

Es sei noch bemerkt, daß die Herstellung der Turbinen in den Fabriken vielfach nach feststehenden Sätzen erfolgt, die ohne Bestellung auf Vorrat angefertigt werden. Dieser Bau nach Normalien ist besonders in Amerika üblich, die deutsche Industrie ist diesem Schematismus noch weniger geneigt.

Wie durch Wassermangel in trockner Zeit, so kommen Triebwerke an offnen Flußläufen auch bei Hochwasser in die Gefahr, Unterbrechungen zu erleiden infolge der Ausgleichung des Gefälles an den Staustufen. Ebenso können wechselnde Gefällhöhen in den verschiedenen Jahreszeiten — Sommer- und Winterwasserstand — den gleichmäßigen Gang des Werkes beeinträchtigen. Dieser Umstand erfordert die ernste Beachtung des konstruierenden Ingenieurs, denn er ist für die Kraftleistung und den wirtschaftlichen Wert einer Anlage von Bedeutung.

Man hat in verschiedener Weise versucht, dem Nachteil der Gefällwechsel entgegen zu wirken. Man kann den Oberwasserspiegel durch bewegliche Wehr- oder Schützeneinrichtungen höher anspannen, so daß sich seine Höhe mit dem Anwachsen des Unterwassers entsprechend hebt. Derartige Anordnungen sind in Amerika ausgeführt worden[1]).

1) Kraftwerke zu Rockhill (Süd-Karolina) und am Great Fall (Potomac-Fluß) s. Hydraulic Developments, Journ. of the West. Soc. of Eng. Mai-Juni 1903.

Aber eine wesentliche Stauung des Oberwassers wird mit Rücksicht auf die landwirtschaftliche Nutzung der angrenzenden Ländereien, besonders in unseren dicht bevölkerten Tälern, selten angängig sein. Ein anderes Mittel — der Einbau von Turbinen, die unter den Gefälländerungen mit günstiger Nutzwirkung arbeiten — liegt darum näher. Hierfür bietet ein

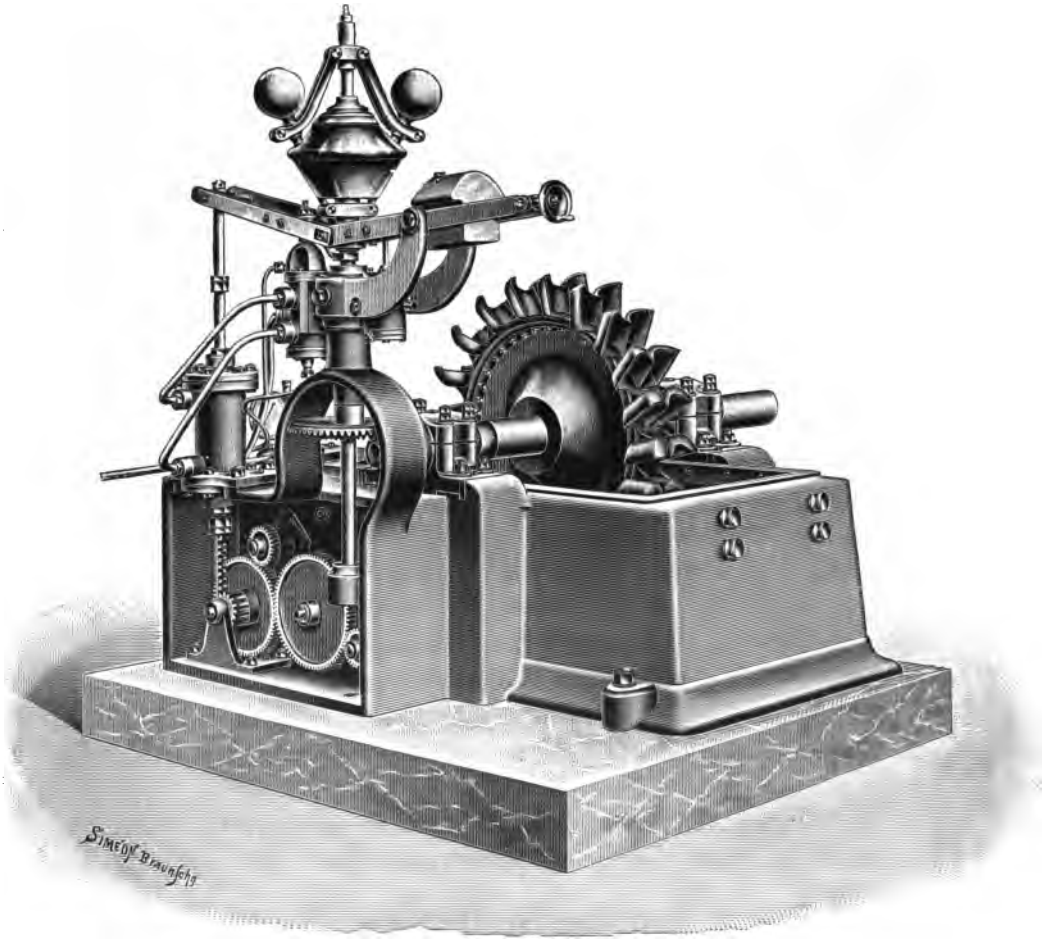


Abb. 40. Peltonturbine mit hydraulischem Regulator.

Beispiel die Kraftanlage von Chèvres, deren Gefälle im Sommer 4,3 m, im Winter aber 8,5 m beträgt. In Abb. 25 ist das Turbinensystem dieses Werkes im Schnitt dargestellt (s. auch Abb. 45). Es sind 2 Turbinen auf einer senkrechten Welle aufgebaut. Das untere Rad ist vor allem für den

Winterbetrieb vorgesehen und leistet 1200 PS. Die obere Maschine von 800 PS. arbeitet bei dem kleineren Sommergefälle. Es ist durch diese Konstruktion trotz des starken Gefällwechsels eine annähernd gleichbleibende Kraftleistung und Umdrehungsgeschwindigkeit erreicht worden.

Nebenanlagen.

Das Kraftwerk bedarf neben dem eigentlichen Raume für die Unterbringung der Maschinen noch Platz für mancherlei Nebeneinrichtungen, die eine von der Größe des Unternehmens abhängige Ausbildung erfahren müssen. Die Schaltanlage für die Verteilung des elektrischen Stromes wird bei kleineren Werken in einem Abteil des Maschinenraumes Unterkunft finden können. Bei großen Kraftgebäuden werden dafür wie auch für die Transformatoren, Akkumulatoren, für Blitzschutzeinrichtungen u. a. m. besondere Räume geschaffen werden müssen. Eine Werkstätte für laufende Ausbesserungsarbeiten, Bureau- und Arbeiterräume, Lagerkeller für Öl und Schmiermaterialien werden nicht entbehrt werden können. Bei der Abgelegenheit der meisten Wasserkraftwerke wird man auch darauf Bedacht nehmen müssen, Wohnräume für den Maschinisten und seine Hilfskräfte zu schaffen.

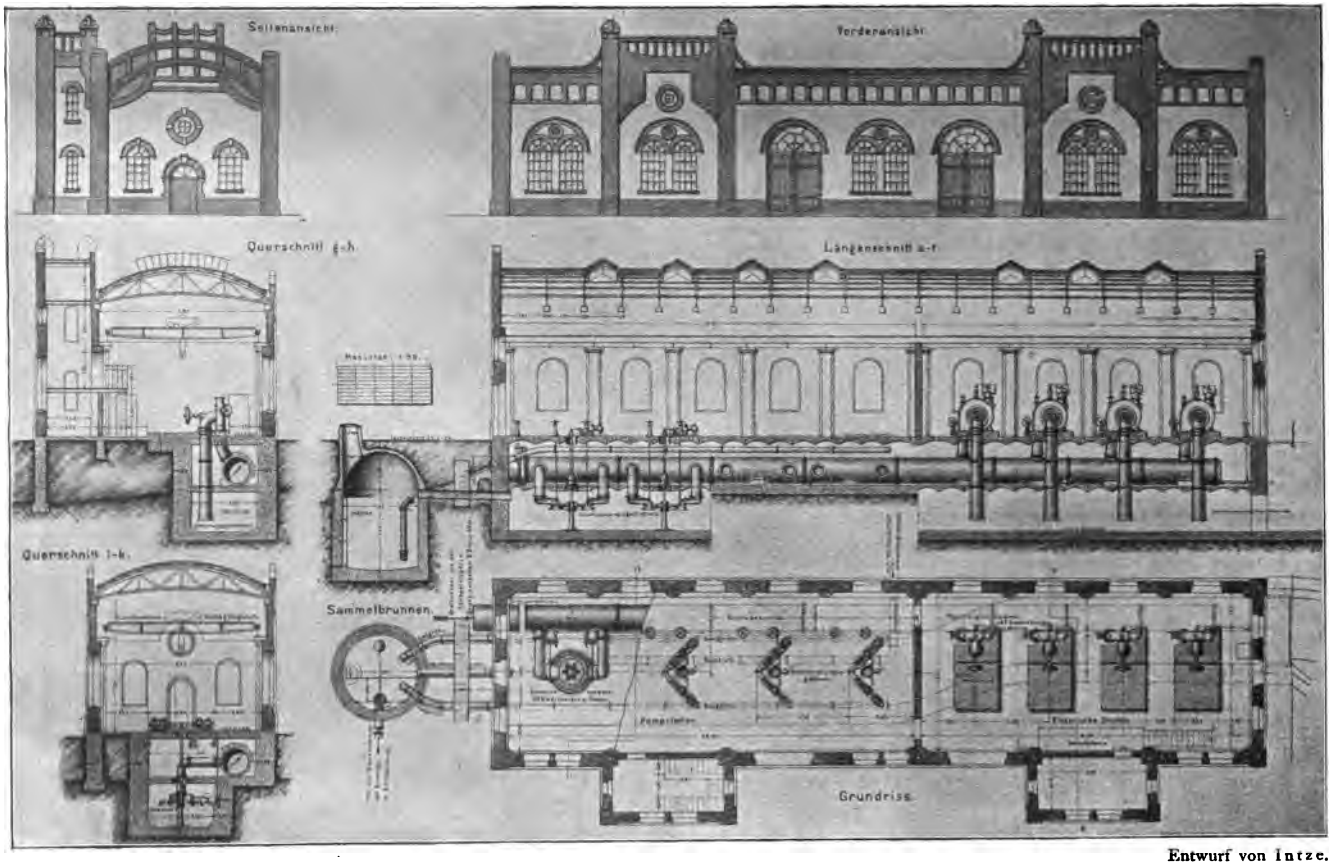
In Pumpwerken sind Einrichtungen zu treffen für die Messung der geförderten Wassermengen und Wasserstandsanzeiger und im Falle Fernmelder für entlegene Beobachtungspunkte aufzustellen. Für elektrische Werke bedarf es einer Reihe von Meßapparaten zur Feststellung der erzeugten und abgegebenen Energie. In diesen Gebäuden wird die Beleuchtung zweckmäßig von Akkumulatorenbatterien besorgt, um Gewähr für die Fortdauer der Beleuchtung zu haben für den Fall, daß an den Generatoren und Turbinen Betriebsstörungen eintreten. Die Heizung der Räume muß vorgesehen werden.

In größeren Anlagen wird ein Laufkran zur bequemen Förderung schwerer Maschinenstücke gebraucht werden.

Gesamtanordnungen.

Es mögen hier zur Ergänzung vorstehender Ausführungen noch kurze Mitteilungen über die Gesamtanordnung der inneren Einrichtung einiger neuerer Wasserkraftwerke folgen.

Das Wasser- und Elektrizitätswerk an der Ennepetalsperre (Westfalen, Ruhrgebiet). Das Kraftwerk (Abb. 41) ist mit einem Sammel-

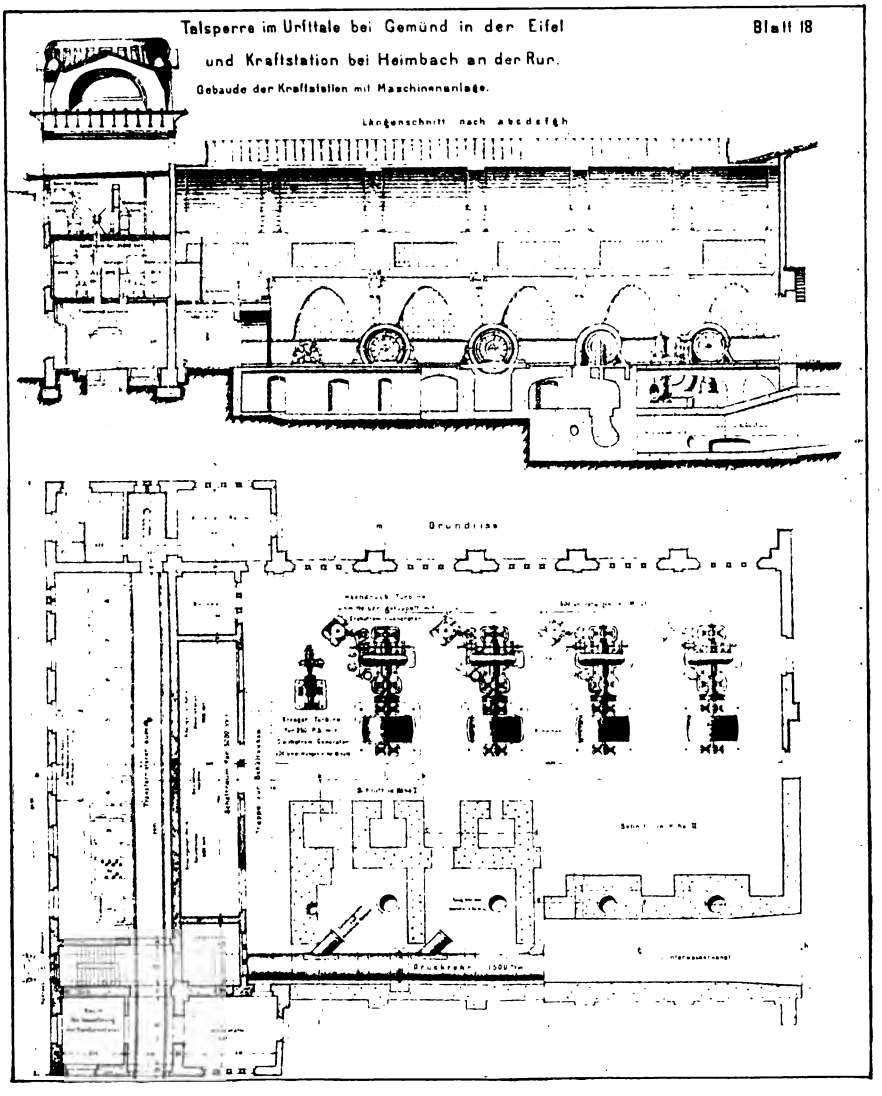


Entwurf von Intze.

Ungef. Maßst. 1:400.

Abb. 41. Wasser- und Elektrizitätswerk an der Ennepetalsperre (Westfalen).

becken von 10 Mill. cbm Stauinhalt verbunden, dessen Abfluß der Wasser- und Kraftversorgung im Kreise Schwelm dient. Von dem Becken wird das Kraftwasser durch ein Stahlblechrohr von 1,4 m Weite auf

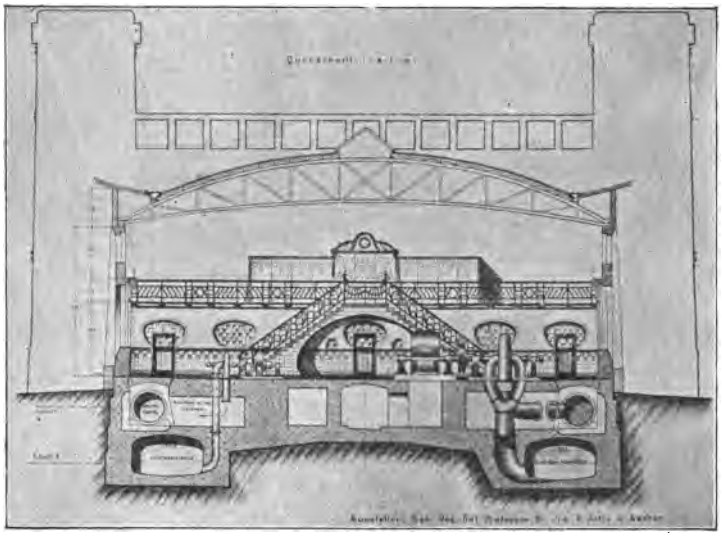


Ungef. Maßst. 1:400. Entwurf von Intze.

Abb. 42. Elektrizitätswerk Heimbach an der Urfttalsperre (Eifel). Grundriß und Längsschnitt.

1300 m Länge den Turbinen zugeführt, auf die es mit einem Nutzdruck von 22 bis 47 m wirkt. Für den vollständigen Ausbau sind 8 Hochdruckturbinen von je 250 PS. Leistung zum Antrieb der Pumpen und elektrischen Maschinen vorgesehen.

Das Druckrohr liegt unter dem Fußboden des Kraftgebäudes und von ihm zweigen 8 Rohre nach den Turbinen ab. Für die Hebung des Trinkwassers sind zunächst 2 Girardturbinen mit 120 Umdrehungen in der Minute aufgestellt; sie sind mit den Zwillings-Plungerpumpen auf



Ungef. Maßst. 1 : 400. Entwurf von Intze.

Abb. 43. Elektrizitätswerk Heimbach an der Urfttalsperre (Eifel). Querschnitt.

senkrechter Welle gekuppelt. Die Pumpen entnehmen das auf Rieselwiesen gereinigte Talsperrenwasser aus einem Sammelbrunnen. Die Leistung des Pumpwerkes beträgt zurzeit 6000 cbm täglich bei 120 m Förderhöhe nach dem Hochbehälter und kann auf 9000 cbm gesteigert werden. Dem elektrischen Betriebe dienen 3 Spiralturbinen mit Saugefälle, die 500 Umdrehungen in der Minute machen und auf wagerechter Welle mit den Drehstromgeneratoren elastisch gekuppelt sind.

Die Pumpenturbinen haben Doppelkränze mit 2 Leitschaufelapparaten, um bei dem stark schwankenden Gefälle eine möglichst günstige Nutzwirkung zu geben. Für höheren Druck wird der eine, für niederen Druck

der andere Kranz beaufschlagt (s. Grundriß und Längsschnitt). Von den Dynamoturbinen sind zwei für die größte Nutzleistung bei größeren Gefällen und zwei für die größte Nutzleistung bei kleineren Gefällen vorgesehen. Die Anlage ist im Jahre 1905 in Betrieb gesetzt.

Das Elektrizitätswerk Heimbach an der Urfttalsperre (Eifel). Das Kraftwerk (Abb. 42 u. 43) wird aus einem Sammelbecken von

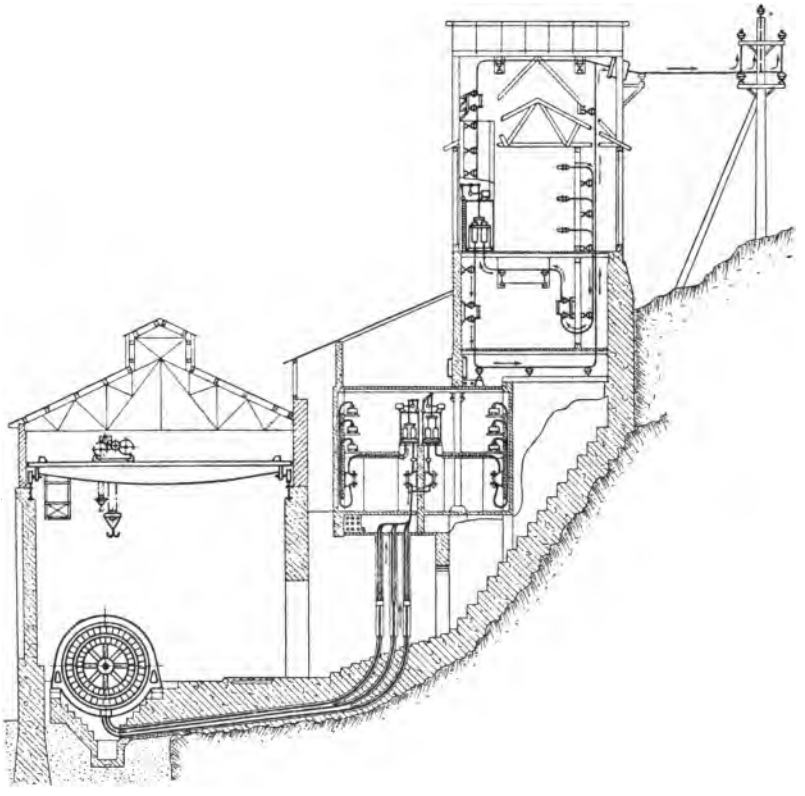
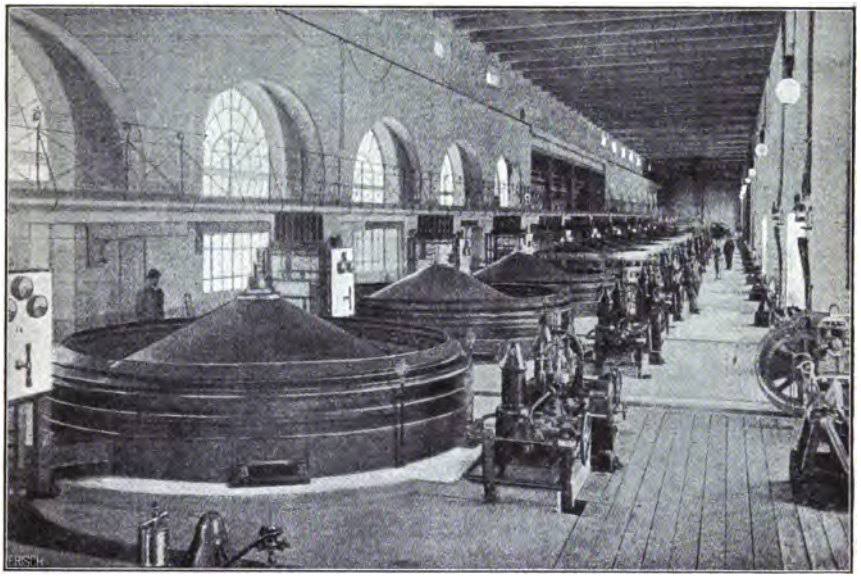


Abb. 44. Elektrizitätswerk am Puyallup-Flusse. Gesamtleistung zurzeit 20000 PS.

45,5 Mill. cbm Stauinhalt gespeist. Von hier aus gelangt das Kraftwasser durch einen Stollen und die anschließenden Druckrohre (Abb. 9 und 16) zu den Turbinen mit einem zwischen 70 und 110 m schwankenden Gefälle. Im Kraftgebäude sind 8 Hochdruckspiralturbinen von je 2000 PS. Höchstleistung und 1500 PS. Mindestleistung, die mit 5 m Sauggefälle arbeiten, vorgesehen. Die Erregung der Drehstromgeneratoren geschieht durch

2 Hochdruckturbinen von je 250 PS. Nutzleistung mit Gleichstromgeneratoren.

Die Druckrohre liegen an den Außenwänden des Gebäudes in Betonkanälen unter Flurhöhe. Die Turbinen machen 500 Umdrehungen in der Minute und sind mit den Generatoren auf wagerechter Welle gekuppelt. Die Schaltbühne ist am bergseitigen Ende des Hauses erhöht derart angebracht, daß eine gute Übersichtlichkeit vorhanden ist. In



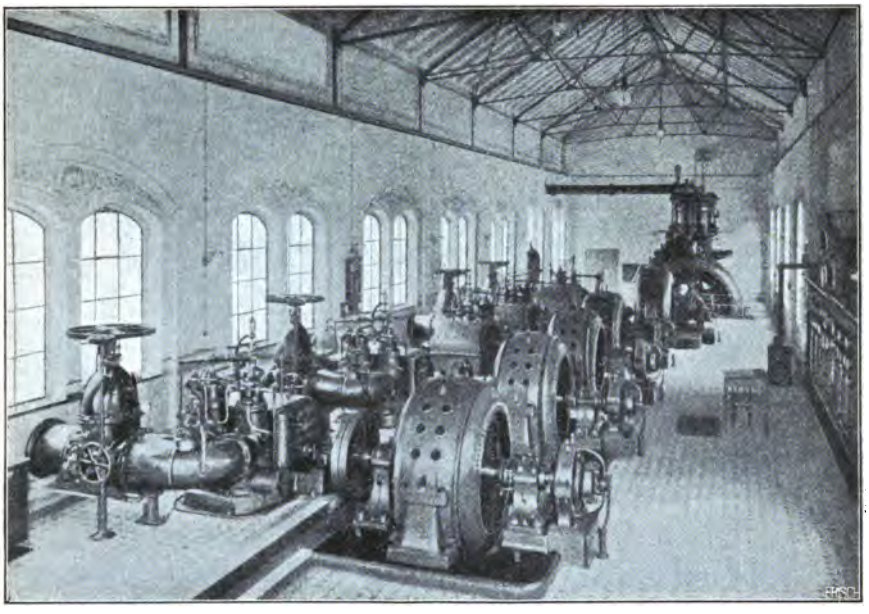
Nach De La Brosse, Install. Hydro-électr.

Abb. 45. Inneres eines Niederdruckkraftwerkes (Chèvres).
Gesamtleistung des Werkes: 12 000 bis 15 000 PS. Fünfzehn Turbinen von 800 bis 1200 PS. Gefälle: 4,3 bis 8,5 m. Turbinen auf senkrechter Welle mit den Dynamos gekuppelt.

einem Kanal unterhalb der Flurhöhe sind die elektrischen Leitungen untergebracht. Die Kupferleitungen führen den Strom mit 5000 Volt Spannung den Transformatoren zu, wo er auf 35 000 Volt für die Fernleitung auf 20 bis 30 km erhöht wird. Die Transformatoren und sonstigen elektrischen Betriebseinrichtungen sind in 3 Stockwerken am bergseitigen Ende des Gebäudes angeordnet. Hier sind auch Bureau- und Arbeiter-

raum, Werkstätte und Lagerraum vorgesehen[1]). Betriebsplan dieses Kraftwerkes s. Abb. 58.

Ein Beispiel für eine auf beengtem Platze am steilabfallenden Berghange errichtete Anlage bietet das Kraftwerk am Puyallup-Flusse in der Nähe von Tacoma in Washington (Nordwesten der Vereinigten Staaten) (Abb. 44). Das Werk besitzt zurzeit 4 Turbinen-Drehstromdynamos von je 5000 PS. Leistung, kann aber auf das Doppelte erweitert



Nach Elektr. Zeitschr.

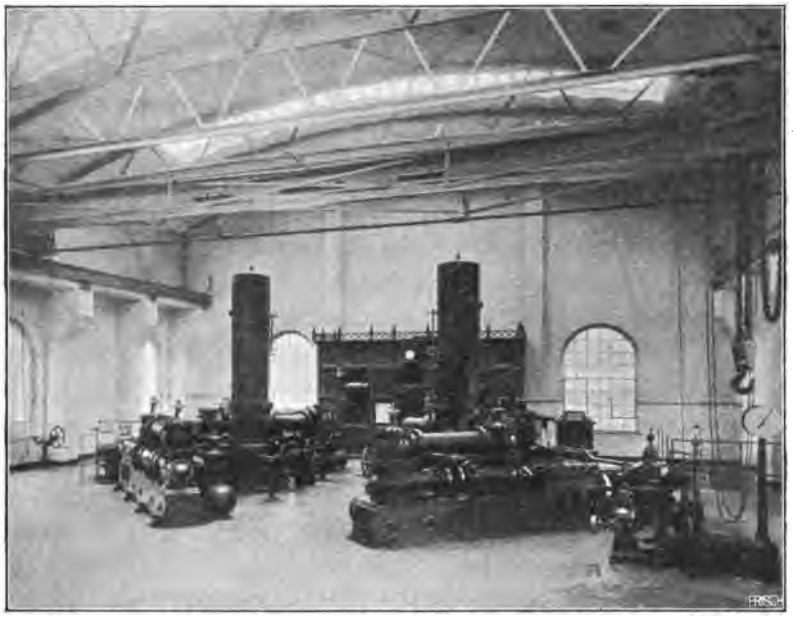
Abb. 46. Inneres eines Hochdruckwerkes (Kubel).

Gesamtleistung: 5000 PS. Vier Turbinen zu je 500 PS., zwei Turbinen zu je 1000 PS. Gefälle: 91 m. Turbinen auf wagerechter Welle mit den Dynamos gekuppelt. Zur Aushilfe Dampfanlage von 1000 PS.

werden. Das Nutzgefälle beträgt 265 m. Die Druckrohre sind den in einer Reihe stehenden mit den Dynamos auf wagerechter Welle gekuppelten Turbinen im Fußboden zugeführt. Die Maschinen, die Transformatoren, die Schalteinrichtung und sonstige für den elektrischen Be-

1) Intze, Talsperrenanlagen, Weltausstellung St. Louis 1904, und Harz, Die Ennepetalsperre, s. auch Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1906.

trieb erforderlichen Anlagen sind je in besonderen Gebäuden von 81 m Länge untergebracht. Nach Erhöhung auf die Spannung von 55000 Volt gelangt der Strom zu den beiden Fernleitungen, die die elektrische Energie nach den beiden 40 und 75 km entfernten Städten Tacoma und Seattle bringen. Bemerkenswert ist, daß trotz der nicht unwesentlichen Strecken die Übertragung mittels Doppelleitung erfolgt. Es geschah



Hochdruckseite. Niederdruckseite.

Abb. 47. Inneres eines vereinigten Nieder- und Hochdruckwerkes (Solingen). Ansicht der Pumpengruppen.

Gesamtleistung: 1200 PS. Vier Turbinen von je 300 PS. mittl. Leistung. Gefälle: 5 bzw. 50 m. Turbinen mit den Pumpen bzw. Dynamos unmittelbar gekuppelt (s. Abb. 28).

dies zur Erzielung möglichster Betriebsicherheit. Der Strom dient zum Betriebe von Straßenbahnen, Fabriken, Eisenbahnwerkstätten und Beleuchtungsanlagen[1]).

Eine Übersicht über die Inneneinrichtung eines Nieder- und Hoch-

1) Transact. of Amer. Soc. of Civ. Eng. Dezember 1905 (ausführl. Beschreibung mit vielen Abbildungen) und Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905.

druckwerkes und einer Anlage, in der beide Systeme vereinigt sind, geben die Abbildungen 45, 46 und 47.

D. Die Wasserkraftnutzung am Gewinnungsort und die Fernübertragung.

Kraftnutzung am Gewinnungsort und ältere Kraftübertragungsarten.

Bevor die elektrische Fernübertragung praktisch brauchbare Formen gefunden hatte, war es erforderlich, daß sich die Gewerbe an den Gewinnungsstätten der Wasserkräfte ansiedelten, wenn sie von letzteren Gebrauch machen wollten. Meist geschah dies in Einzelanlagen — Mühlen aller Art — deren Erzeugnisse dem örtlichen Verbrauch dienten. Schwierige Wege- und Verkehrsverhältnisse für die Zufuhr der Rohstoffe und den Absatz der fertigen Stücke standen — besonders in früherer Zeit — dem Aufblühen eines reicheren gewerblichen Lebens in entlegenen Gegenden entgegen. Oft auch bieten enge Gebirgstäler nicht den nötigen Raum für größere bauliche Entfaltung.

Aber dessenungeachtet findet man seit Mitte des abgelaufenen Jahrhunderts Beispiele, wo Wasserkräfte zu Mittelpunkten der Bevölkerung geworden sind — gleichsam als Kolonien unwirtbare Gegenden der menschlichen Bewirtschaftung erschließend. Amerika zeigt ein mannigfaches Bild solcher zentralen Entwicklung. Es entstanden in diesem Lande mehrfach rund um die natürlichen Kraftquellen Fabrikanlagen und reichbevölkerte Städte. Es sei auf die St. Anthony-Fälle am oberen Mississippi bei Minneapolis hingewiesen, an denen eine Mühlenstadt heranwuchs, die heute die stattliche Zahl von 500 000 Einwohnern erreicht hat. Eine gleiche Erscheinung zeigt sich nördlich von Minneapolis an den Little Falls an demselben Strome[1]). Von 500 Angesessenen vergrößerte sich innerhalb eines Jahres nach Fertigstellung des Kraftwerkes, das eine Leistungsfähigkeit von 17 000 PS. besitzt, die Zahl um das Doppelte und gegenwärtig hat die Stadt eine Bevölkerung von 7500 Seelen, die von dem Wasserfalle leben. Auch die Wasserkraftanlagen am Niagara und die bei Manchester im Tale des Merrimac-Flusses können hier genannt werden. Allerdings entsteht solche Entwicklung nur, wenn sich die Anziehungs-

1) Eng. Rec. Juni 1905.

kraft sehr bedeutender Wasserkräfte, wie sie eben Amerika besitzt, äußert. Europa weist in früherer Zeit wohl kaum derartiges auf, und erst in neueren Jahren hat die elektrochemische Industrie ähnliche Zentralpunkte geschaffen (Rheinfelden[1]), Gersthofen, Neuhausen am Rheinfall u. a.)[2]).

Aber auch solche Ansiedlungen, die sich unmittelbar rund um eine Wasserkraft gruppieren, bedingen eine Übertragung und Verteilung der Kräfte, denn es ergibt sich dabei eine Gliederung in Einzelanlagen mit immerhin einiger Flächenausbreitung. An den erwähnten Unternehmungen des Niagarafalles geschah diese Zerlegung in der Weise, daß in besonderen Triebwerkskanälen den einzelnen Werken oder einer Gruppe von Fabriken der zugehörige Anteil an Kraftwasser zugeführt wurde. Dies Verfahren war kostspielig und umständlich, und die an sich zwar interessante Art, wie die Kostenverteilung für diese Wassernutznießung erfolgte[3]), erweist schon allein ihre Unvollkommenheit.

Abb. 48. Ehemalige Seilübertragungsanlage des Kraftwerkes der Stadt Schaffhausen a. Rh. für 600 bis 700 PS. Leistungsfähigkeit.

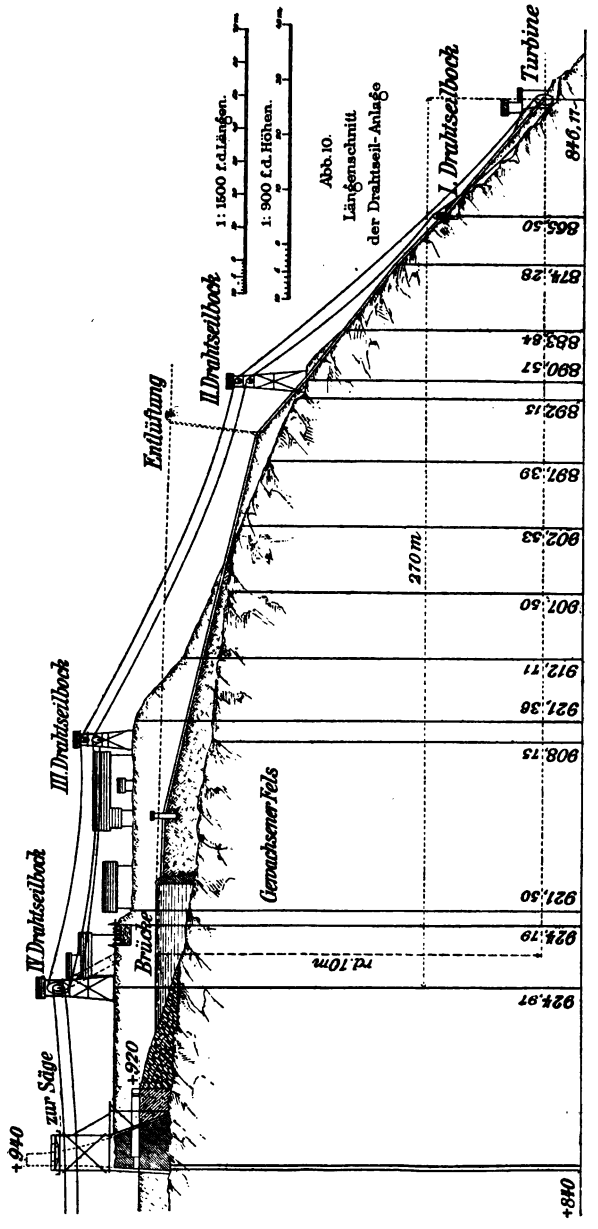
Doch man erblickt hierin wohl die ersten Anfänge der Bestrebungen, die auf eine Dezentralisierung der Wasserkräfte gerichtet sind, und es mag von Bedeutung sein, den weiteren Werdegang an einigen ausgeführten Werken zu verfolgen. Eine bemerkenswerte Erscheinung in diesen Entwicklungsformen bildet die Seilübertragung am alten Wasserkraftwerk

1) Hier ist ein Industrieort (Badisch Rheinfelden) infolge der Errichtung des Kraftwerkes (1895 bis 1898) neu entstanden, der 1900 bereits eine Bevölkerung von 1500 Personen hatte.

2) Über ähnliche Vorgänge in Frankreich s. De La Brosse, Installat. Hydro-Électr. S. 59.

3) Riedler, Studien über Kraftverteilung. Z. d. Ver. deutsch. Ing. 1892.

der Stadt Schaffhausen a. Rhein (Abb. 48). Sie galt zur Zeit ihrer Einrichtung, um das Jahr 1866, als eine der kühnsten und bewunderungswertesten Schöpfungen der Ingenieurkunst und diente zur Übertragung



Nach Zeitschr. f. Bauwesen.

Abb. 49. Drahtseilanlage für die Übertragung von 120 PS. zur Förderung der Baustoffe und zum Betriebe der Steinbrecher, Sandmühlen und sonstiger Maschinen beim Bau des Stauweihers Lauchensee in den Vogesen.

von 600 bis 700 PS. nach nahegelegenen Fabriken auf einige hundert Meter[1]). Auf Quaderpfeilern zogen sich längs und quer zum Rhein die Seile hin; an den Arbeitsstätten erfolgte dann die weitere Umsetzung durch Wellen und Zahnräder. Diese Anlage hat der elektrischen Übertragung weichen müssen und nur an den Pfeilerresten erkennt man heute noch ihr ehemaliges Dasein. Ein weiteres Beispiel bietet das alte Kraftwerk der Stadt Genua, an dem im Jahre 1885 eine Seilübertragung auf 500 m für 400 PS. eingerichtet wurde. Zu erwähnen ist hier auch die beim Bau der Talsperre am Lauchensee (Vogesen) für Bauzwecke benutzte Drahtseilanlage (Abb. 49).

Kraftübertragung mittels Druckwasser und Druckluft.

Eine andere Stufe des Ausbildungsganges bedeutete die Kraftumsetzung und Verteilung mittels Druckwasser und Druckluft. Zwei Vorgänge seien erwähnt. In den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts zeigten sich die ersten Bestrebungen, dem Kleingewerbe billige mechanische Kraftleistungen zur Verfügung zu stellen, und man fand dafür ein Mittel in kleinen hydraulischen Motoren, die aus den in dieser Zeit allgemeiner werdenden zentralen Wasserleitungen angetrieben werden sollten. Diesem Wunsche verdankt ein Kraftverteilungssystem sein Entstehen, das anfangs der achtziger Jahre in Genf eingerichtet wurde. Die wirtschaftliche Ausnutzung der Wasserkräfte der Rhone erfolgt hier nach Umsetzung in Kraftwasser, das in einem Rohrnetz zu den Abnehmern gelangt. Ehe man sich für diese Übertragungsform entschied, wurden 1883/84 sorgfältige Voruntersuchungen angestellt darüber, ob die Kraftleitung mittels Drahtseiles, durch Druckwasser, Preßluft oder elektrische Kabel geschehen solle. Das Ergebnis war: Bei Übertragung einer Kraft von 100 PS. auf 5 km würde gekostet haben 1 PS.:

bei Seilübertragung . . . . . 23,2 Pfennig,
» Preßluftübertragung . . . 29,6 »
» Druckwasserübertragung 54,0 »
» elektrischer Übertragung 21,6 »

Trotz der hohen Kosten der Druckwasserübertragung entschied man sich hierfür, wobei die Sicherheit im Betriebe, die Bequemlichkeit in der Handhabung und die Zuverlässigkeit der Anlage ins Feld geführt wurde

1) Die Elektrizitätswerke und die Straßenbahn der Stadt Schaffhausen. Zürich 1903.

— Gründe, die damals wohl ihre Berechtigung gehabt haben mögen als Vorzug gegenüber der elektrischen Fernleitung. Die technische Einrichtung ist eigenartig. Es werden bei einem Gefälle der Rhone von 1,7 bis 3,7 m 3800 PS. ausgenutzt und das Wasser aus dem Genfer See wird 60 und 140 m nach Hochbehältern gehoben, von wo es mittels Stadtrohrnetzes den Werkstätten als Druckwasser zugeführt wird. Turbinen arbeiten als Kleinkraftmaschinen. 1 PS. kostet jährlich 320 Mk., bei Entnahme von 100 PS. nur 112 Mk. Eine ähnliche Übertragung mittels Druckwasser hat das 1884 eingerichtete Hochdruckwerk bei Horgen am Züricher See. Zum Vergleich mit diesen Ergebnissen mögen die Angaben der Tab. 8 dienen, die man bei Hoppe, Berechnung von Betriebskosten und Rentabilitäten, findet[1]).

Tabelle 8. Stündliche Gesamtkosten bei Übertragung einer Kraft,
welche ursprünglich 1 Pfennig für die Pferdekraft und Stunde kostet.

Zu übertragende PS.	Art der Übertragung	Stündliche Gesamtkosten der PS. in Mark bei einer Übertragungsentfernung in Kilometern					
		0,1	0,5	1,0	5,0	10,0	20,0
5	Elektrisch	2,1	2,1	2,2	2,7	3,0	4,8
	Wasser	2,4	2,7	2,9	6,0	9,7	18,4
	Drahtseil	1,0	1,4	1,8	5,1	9,6	21,1
10	Elektrisch	1,9	1,9	2,0	2,4	2,9	3,5
	Wasser	2,2	2,3	2,6	3,7	7,1	13,3
	Drahtseil	1,0	1,4	1,6	4,2	7,9	17,7
50	Elektrisch	1,8	1,8	1,9	2,1	2,6	3,9
	Wasser	1,6	1,6	1,7	2,7	2,9	7,2
	Drahtseil	1,0	1,1	1,2	2,3	3,2	10,3

Auch in Amerika hat man die Frage erörtert, das Wasser aus städtischen Wasserleitungen für Kraftzwecke zu verkaufen[2]). Doch haben Aufrechnungen der Betriebskosten bei solchen Werken, bei denen das Wasser zunächst mittels Pumpen in einen Behälter gehoben und dann in das Rohrnetz verteilt wird, in Übereinstimmung mit vorstehenden Zahlen ergeben, daß diese Kosten zwei bis viermal so groß sein würden

1) Weiteres über Wirkungsgrade bei Kraftübertragung mittels Elektrizität, Seil, Druckwasser und Druckluft s. auch The Engineering Magazine. Jan. 1905.

2) Eng. Rec. 17. 6. 1905.

als bei elektrischem Betriebe. Dazu kommt, daß bei solcher Kraftwasserentnahme aus städtischen Wasserversorgungen der größte Kraftbedarf zeitlich mit dem größten Trinkwasserbedarf zusammenfällt, während bei Elektrizitätswerken der Kraft- und Lichtverbrauch in der Hauptsache hintereinander liegen, so daß eine günstigere Beanspruchung des Werkes vorhanden ist. Die Wasserkraftnutzung aus städtischen Leitungen erscheint darum allgemein nicht wirtschaftlich; sie mag aber im Einzelfalle bei besonderen örtlichen Bedingungen wohl anwendbar sein, z. B. wenn Wasser, das in natürlichem Gefälle zufließt, in überreichlichem Maße zur Verfügung steht. Für solche Ausnutzung werden heute Peltonräder in kleinsten Abmessungen von 10 bis 15 cm Raddurchmesser angefertigt, die in hauswirtschaftlichen Betrieben bei Nähmaschinen, Musikwerken, Stiefelputzmaschinen u. a. m. Anwendung finden können. Wenn sich dabei auch die Kraft vielleicht etwas teuer stellt, so handelt es sich doch immer nur um kurzen Bedarf. Diese Kraftquelle hat mit dem Elektromotor den Vorteil steter Betriebsbereitschaft, der Reinlichkeit und kleinen Raumbedarfs, aber noch den besonderen Vorzug, daß dort, wo einmal Wasserleitungen im Hause liegen, nicht noch weitere Kraftleitungen gelegt werden dürfen.

Bei den Voruntersuchungen zur Ausnutzung von 125 000 PS. am Niagarafall in den neunziger Jahren machte Riedler den Vorschlag, die Kraftübertragung nach dem 32 km entfernten Buffalo mittels Druckluft zu bewirken. Es schien die technische wie wirtschaftliche Seite der elektrischen Fernleitung noch nicht genügend geklärt. Doch fand dieser Gedanke keine Verwirklichung. Die Kraftübertragung gelangte überhaupt nicht zur Ausführung; sie scheiterte an den Bedenken, die damals im allgemeinen gegen ein solches Unternehmen erhoben wurden[1]).

Neuerdings hat die Kraftverteilung mittels Druckluft innerhalb Fabrikräumen, bei maschinellen Bohrungen u. a. m. einige Aufnahme gefunden.

Elektrische Kraftübertragung.

Heute beherrscht die elektrische Kraftübertragung das Feld, und wohl kaum eine andere Form kommt bei größeren Strecken in Frage. Sie hat, wie Janssen[2]) hervorhebt, in den zentralen Kraftanlagen Aufgaben gelöst, denen weder mit Dampf, noch mit Druckluft oder Preßwasser gleich erfolgreich und vollkommen beizukommen war.

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1892. 2) Stahl u. Eisen. 1905.

Die Wasserkräfte sind damit von der örtlichen Gebundenheit gelöst worden und allgemein in Wettbewerb gestellt mit den Wärmekraftmaschinen. Infolgedessen sind diese beiden natürlichen Kraftquellen als gleichbeweglich anzusehen und neben den Betriebsrücksichten wird in erster Linie die Kostenfrage im Einzelfalle die Entscheidung über ihre Anwendung erbringen. Die weitere natürliche Folge davon ist, daß heute die gewerbliche Verwertung der Wasserkräfte sehr oft nicht dort erfolgt, wo die Krafterzeugung stattfindet, sondern dort, wo der Kraftbedarf vorhanden ist.

Die deutsche Wissenschaft hat den Ruhm, die praktische Möglichkeit der Fernleitung zuerst nachgewiesen zu haben und hat damit eine Art wirtschaftlicher Umwälzung und vollständige Änderungen im Turbinenbau herbeigeführt, jedoch die Erfolge zieht in erster Linie das Ausland. Die deutsche Turbinen- und Elektrizitätsindustrie liefert heute nach vielen Ländern der Erde, wo überall die Ausnutzung der Wasserkräfte in ausgedehntestem Maße stattfindet. Aber wir selbst sind noch im Rückstande. Vor allem in der Fernübertragung der Wasserkräfte ist Amerika dem europäischen Festlande weit voraus. Europa forschte, sagt in Beziehung hierauf ein amerikanisches Fachblatt, Amerika handelte[1]).

Die nachstehende Tab. 9, einem Aufsatze von Ayrton[2]) entnommen, gibt ein Bild der bemerkenswertesten Vorversuche, die ihre Krönung in der Fernübertragung Lauffen-Frankfurt fanden, die einen wirtschaftlich brauchbaren Wirkungsgrad von 75,3 v. H. lieferte.

Tabelle 9. Entwicklung der elektrischen Kraftübertragung.

	1882 Hirschau—München	1883 Vizille—Grenoble	1886 Creil—Paris	1891 Lauffen—Frankfurt
Übertragungsspannung (Volt)	700	3000	6000	25 000
Kraftleistung (PS.)	5,8	7	52	114
Entfernung (km)	4,4	15	44	175
Wirkungsgrad der Übertragung v. H.	36	62	45	75,3
Material der Drähte	—	Silizium-Bronze	Kupfer	Kupfer

1) Eng. Rec. 1903.

2) Engineering 1905, Scient. Americ. Supplem. Nov. 1905, Engin. Mag. Dez. 1905, s. auch De La Brosse, dessen Angaben ein wenig abweichen.

Amerika steht heute sowohl hinsichtlich der Entfernungen als auch der Höhe der Stromspannungen obenan. Die längste überhaupt vorhandene Übertragung ist zurzeit wohl die des De Sabla-Kraftwerkes, von dem aus die Zuführung des Stromes nach San Francisco und benachbarten Plätzen auf 500 km erfolgt. Veranlassung zu dieser außerordentlichen Entwicklung haben die reichen Wasserkräfte in den abgelegenen Gebirgstälern der Westküste und die Kohlenarmut dieser Landbezirke gegeben[1]). Und man ist in Amerika der Ansicht, daß mit solchen Leistungen noch keineswegs die Grenze erreicht ist. Die folgende Tabelle 10 — ebenfalls nach Ayrton — gibt eine Übersicht der neueren Ausführungen in verschiedenen Ländern der Erde.

Tabelle 10. Neuere elektrische Kraftübertragungen von Wasserkräften.

Jahr	Von	nach	Land	Entfernung km	Kraftleistung PS.	Übertragungsspannung am Ende Volt
1897	Crofton	—	Kalifornien	—	—	33 000
1897	Redlands	—	»	—	—	33 000
—	—	Bangalore	Indien	147	4 300	35 000
1898	Provo	—	Utah	51	—	40 000
—	Gromo	Nembro	Lombardei	35	3 300	40 000
—	Logan	Salt Lake City	Utah	240	2 600	40 000
—	Canyon Ferry	Butte	Missouri	112	5 700	50 000
—	Shawinigan	Montreal	Kanada	144	15 000	50 000
—	Moutiers	Lyon	Frankreich	180	6 000	57 000
—	Spokane	Washington	—	160	3 000	60 000
—	—	Guanaguato	Mexiko	167	4 000	60 000
—	Electra	San Francisco	Kalifornien	235	10 000	60 000
—	Colegate	Stockton	»	346	5 000	60 000

Auch in Europa findet man in dem kohlenarmen Italien und in Frankreich ansehnliche Übertragungsweiten von Wasserkräften, wie die Tabelle 10 erkennen läßt. Deutschland hat mit solchen Entfernungen weniger zu rechnen, weil die verteilt liegenden Kohlenlager dem Wettbewerb der »weißen« und »grünen« Kohle entgegentreten. Dieser Umstand mindert die wirtschaftlich zulässigen Entfernungen auf vielleicht 40 bis 50 km herab. An der Kraftanlage der Urfttalsperre (Eifel) ist zum ersten Male in Deutschland eine Stromspannung von 35 000 Volt in Betrieb; die Fernleitung geschieht auf 20—30 km[2]).

1) Vgl. auch Abschn. Amerika. 2) Siehe S. 88.

Diese Erörterung führt zu der Frage der wirtschaftlichen Grenze der Fernübertragung der Kräfte. Das Streben geht auf immer höhere Stromspannungen hinaus, um an Energieverlusten und an Masse in den Kupferdrähten zu sparen. In diesem Vorwärtstasten und Forschen ist allerdings die Erkenntnis noch keine klare. »Im Gegensatz zu Ryan — schreibt die Elektr. Ztg. 1905 S. 169 — der zu dem Schlusse gelangt, daß für die Grenze der Übertragungsweite die Größe der Energieverluste in der Fernleitung maßgebend sind, zeigt der Amerikaner Mershon, daß jene Grenze durch den Preis des Leitungskupfers bestimmt wird.« Diese Untersuchung Mershons — angestellt unter voller Berücksichtigung der Anlage-, Unterhaltungs-, Tilgungs- und Betriebskosten — führt zu dem Ergebnis, daß eine Leistung von 200000 bis 300000 KW. noch auf 820 bzw. 1000 km übertragen werden kann, wobei allerdings mit einer Übertragungsspannung von 150000 bis 200000 Volt gerechnet wird, die man jedoch heute schon für praktisch durchführbar hält. Andererseits soll nach den Forschungen von Wallace die Spannungssteigerung über einen gewissen Betrag hinaus, etwa 60000 Volt, die Kosten der Übertragung nur wenig herabmindern. Doch sind in neuester Zeit (1904) von der Kern-River Kraftgesellschaft (Kalifornien) Versuche mit der Übertragung mittels 80000 Volt auf 200 km Entfernung gemacht worden und 67500 Volt bei 10000 PS. Leistung sollen der praktischen Ausführung zugrunde gelegt werden.

Wahl des Betriebsstromes.

Als Stromart ist heute der Wechselstrom meist in Form von Drehstrom üblich, doch scheint der Gleichstrom für diese Zwecke der hohen Spannungen und weiten Entfernungen nicht ohne Zukunft zu sein.

Bei den Versuchen der Compagnie de l'Industrie Électrique et Mécanique in Genf galt es die Frage zu untersuchen, ob es möglich wäre, Wasserkräfte, welche infolge ihrer Abgelegenheit bisher zur Kraftübertragung mit Wechselstrom noch nicht ausgenutzt werden konnten, durch eine Kraftübertragungsanlage mit hochgespanntem Gleichstrom zu verwerten. Die Versuche wurden mit Spannungen bis 70000 Volt ausgeführt, es wurden 60—70 KW. übertragen und man folgerte, daß man mit 10 v. H. Verlust und mit einem Kupferaufwand von 30 kg für 1 PS. Entfernungen von 335 km und bei 30 v. H. Verlust 1000 km überwinden könne. Man glaubt hiernach mit Gleichstrom unter durchaus wirtschaftlichen Betriebs-

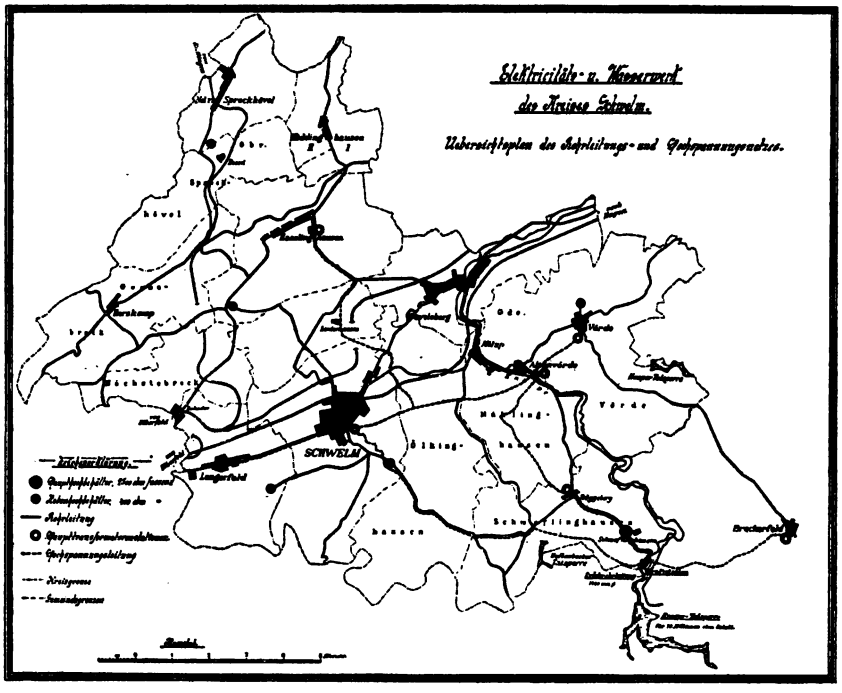
bedingungen doppelt so große Übertragungsweiten erreichen zu können, als es bisher bei Wechsel- oder Drehstrom möglich war[1]). Auch die Voruntersuchungen für die Ausnutzung der Viktoria-Fälle des Zambesi haben für hohe Spannungen dem Gleichstrom aus Betriebsgründen den Vorzug gegenüber dem Wechselstrom gegeben[2]). In der Schweiz und in Italien sind schon einige Kraftübertragungen mit hochgespanntem Gleichstrom ausgeführt worden. Bei dem Übertragungswerke St. Maurice-Lausanne (zurzeit 5000 PS., im ganzen 15000 PS. zur Verfügung) sind 10 Gleichstromdynamos, die je 2250 Volt Spannung liefern, hintereinander geschaltet, so daß in der 56 km langen Fernleitung nach Lausanne die Spannung auf 22500 Volt steigen kann[3]). Die Kraftübertragung Moutiers-Lyon — gegenwärtig in Ausführung — wird ebenfalls Gleichstrom von 60000 Volt haben[4]).

Das Wesen des Hochspannungsgleichstroms besteht in der Hintereinanderschaltung einer Reihe von Gleichstrommaschinen kleiner Spannung, da einzelne Gleichstrommaschinen nur für Spannungen von etwa 3000 bis 5000 Volt hergestellt werden können. Die Entnahme am Verbrauchsort erfolgt gleichfalls durch eine Reihe von Motoren kleiner Spannung. Die Summe der Einzelspannungen gibt die Gesamtspannung. Das hat die praktische Bedeutung, daß sich der Hochspannungsgleichstrom für die Übertragung nur eignet, wenn ein langer gleichmäßiger Kraftbedarf vorhanden ist, wie z. B. im Straßenbahnbetriebe. Darin liegt eine Beschränkung dieser Stromart gegenüber dem Wechselstrom.

Bei dem Ausbau einer Kraftanlage für elektrischen Betrieb wird man sich vergegenwärtigen müssen, daß der wichtigste Punkt dieses Unternehmens die Erreichung größtmöglichster Betriebssicherheit ist, da meist ausgedehnte Gewerbebetriebe und viele kleine Werkstätten und Beleuchtungsanlagen an die Zentrale angeschlossen sind. Das bedingt ein sicheres Arbeiten der Maschinen und Zuverlässigkeit des Übertragungs- und Verteilungsnetzes und gute Gleichmäßigkeit des Stromes, vor allem zur Schaffung eines ruhigen Lichtes. Daneben dürfen naturgemäß die Betriebskosten und die Einfachheit des Betriebes nicht außer acht bleiben. Die Wahl des Gebrauchsstromes — Gleichstrom oder Wechselstrom (Drehstrom) — wird somit nicht nur von der Übertragungslänge, sondern auch von dem Bedarf des

1) E. T. Z. 1904 S. 841.
2) E. T. Z. 1905 S. 1162.
3) Wagenbach, Turbinenanlagen.
4) Le Génie Civil 1905.

Abnehmerkreises abhängen. Die Anlage von Unter- und Umformerstationen, in denen der Strom von hoher in niedere Spannung oder Drehstrom in Gleichstrom und umgekehrt umgeformt wird, die Einschaltung von Akkumulatoren in das Betriebsnetz, der Ausbau des Übertragungs- und Verteilungsnetzes und die Einrichtungen der Stromabgabe an die Gebrauchsstellen — alles das sind Aufgaben, die nicht



Nach Harz, Ennepetalsperre.

Abb. 50. Verteilungsnetz des Kraftwerkes an der Ennepetalsperre (Ruhrgebiet). Spannung: in den Generatoren 500 Volt, im Hochspannungsnetz 20000 Volt, für die Verbraucher 220 Volt. Freileitung auf Holz- und Eisenmasten, zum Teil Doppelleitungen; in den Ortschaften Kabelleitungen. Gesamtleistung des Kraftwerkes: 500 PS. an 4200 Betriebsstunden im Jahr.

in den Rahmen dieser Abhandlung fallen. Guten Aufschluß darüber geben die Werke von v. Miller »Die Versorgung der Städte mit Elektrizität«, die in Form von Statistiken gehaltenen Bücher von F. Hoppe u. a., auf die hier verwiesen werden muß. — Einen Überblick über derartige Gesamtanordnungen geben die Abbildungen 50 und 51.

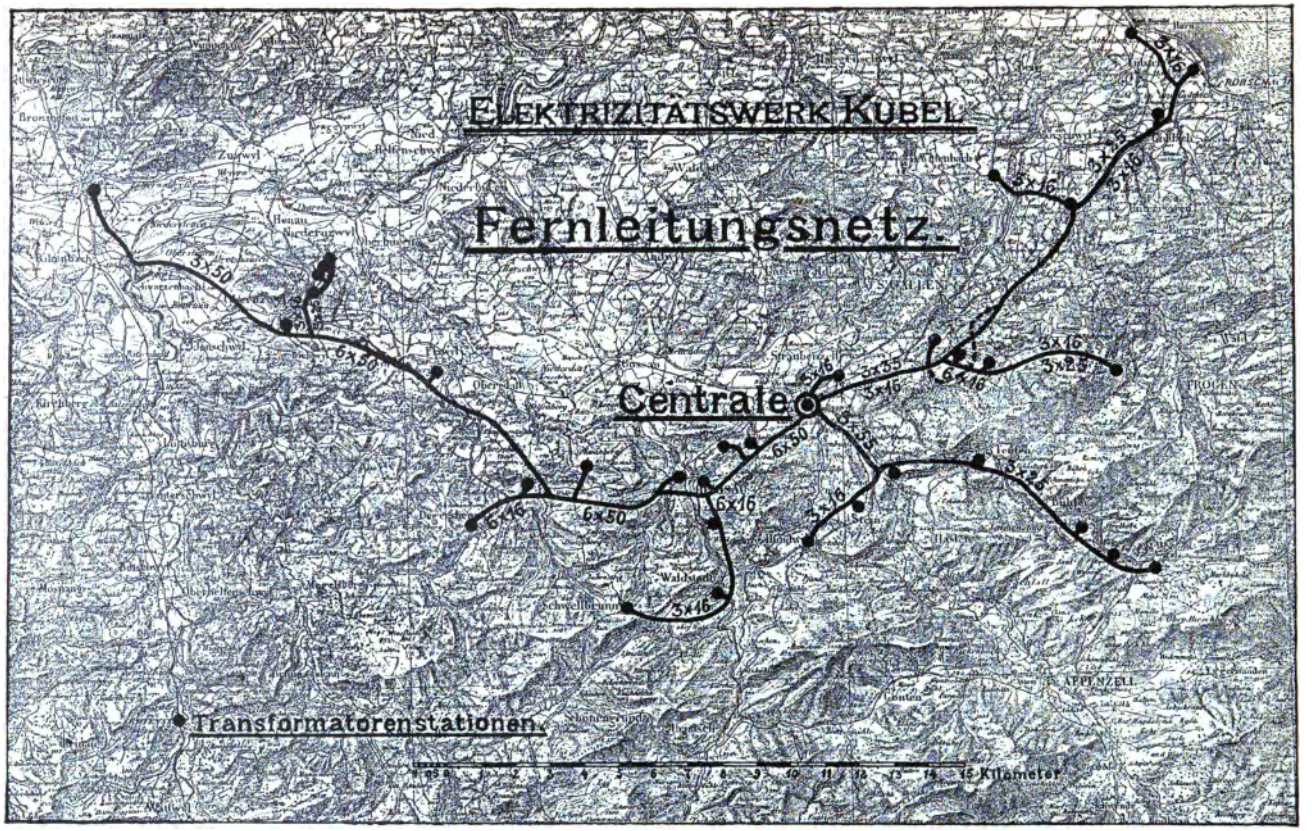


Abb. 51. Nach Elektr. Zeitschr.

Das Verteilungsnetz hat in vier Hauptlinien eine Gesamtlänge von mehr als 80 km und versorgt 22 Ortschaften. Die entferntesten Punkte des Netzes liegen 42 km auseinander. Hochspannung: 10000 Volt. Leitungen für Kraft und Licht getrennt. Gebrauchsspannung: 550 (Motoren) und 125 Volt (Licht). Freileitung auf Holzmasten. Gesamtübertragung und Verteilung: 5000 PS.

Es mag aber von allgemeinem Interesse sein, in einem bestimmten Falle die Gründe für die Wahl der Stromart kennen zu lernen. Bei dem Wasserkraft-Elektrizitätswerk der Stadt Solingen beträgt die Entfernung zwischen der Primärstation und dem Schwerpunkt des elektrischen Kabelnetzes der Stadt rund 6 km [1]). Diese beträchtliche Länge wies auf die Anwendung hoher Spannung hin. Da sich nun diese bei Wechselstrom einfacher und sicherer erzeugen und für den Gebrauch durch einfachere Vorrichtungen auf eine mäßige Höhe umschalten läßt als bei Gleichstrom, so wurde der erstere, und zwar in Form von Drehstrom (5300 Volt) gewählt. Diese Stromart gestattet gute und billige Motoren, billige Leitungen und ermöglicht den gleichzeitigen Betrieb der Lichterzeugung. Außerdem fiel ins Gewicht, daß in der Stadt bereits eine Anzahl Motoren arbeiten, die von einem vorhandenen privaten Elektrizitätswerk mit Drehstrom angetrieben wurden. Der spätere Anschluß dieser Betriebsstätten an das städtische Werk mußte aber offen gehalten werden.

Für die Stromverteilung in der Stadt kamen zwei Systeme in Betracht:

1. Drehstrom für Kraft- und Beleuchtungszwecke in zwei getrennten Netzen bei 220 Volt Spannung. Die Speisung beider Netze erfolgt durch ein Hochspannungsnetz, an welches die Transformatoren angeschlossen sind. Letztere stehen in den Speisepunkten der beiden Verteilungsnetze.

2. Für motorische Zwecke wird Drehstrom, in der Weise wie vorher, verteilt. Die Lichterzeugung erfolgt durch Gleichstrom. Zu diesem Zwecke wird der hochgespannte Drehstrom der Fernleitung mittels Motorgeneratoren in einer innerhalb der Stadt gelegenen Unterstation in Gleichstrom umgeformt und durch ein Dreileiternetz mit 220 Volt verteilt. Die Unterstation wird mit einem Akkumulator ausgerüstet.

Hinsichtlich des Für und Wider dieser beiden Systeme für den vorliegenden Fall sei kurz erwähnt:

Die Betriebssicherheit konnte bei guter Ausführung in beiden Fällen als hinreichend angesehen werden.

Bei Gleichstrom würde sie insofern größer sein, als bei Betriebsstörungen in der Primärstation oder in der Fernleitung durch den

1) Denkschrift zur Einweihung der Sengbach-Talsperre.

Akkumulator für einige Stunden die Stromunterbrechung ausgeglichen und den Konsumenten das Licht erhalten bliebe. Im Drehstrombetriebe würde diese Aushilfe nicht vorhanden sein. Für den Motorenbetrieb würde jedoch auch dann eine Unterbrechung in der Stromzufuhr eintreten, indessen kann dieser Schaden vielleicht geringer bewertet werden als die plötzliche Dunkelheit für den geschäftlichen Verkehr.

Bei Verwendung von Gleichstrom erschien ein ruhiges Licht gesichert, da die in das Lichtnetz gelieferte Spannung durch die Batterie der Unterstation völlig gleich erhalten wird. Bei Drehstrom würde selbst bei Vorhandensein getrennter Verteilungsnetze für Licht und Motorenbetrieb eine Beeinflussung des Lichtes durch den Motorenbetrieb und dadurch veranlaßte Spannungsschwankungen bei In- und Außerbetriebsetzen der Motoren nicht ganz zu vermeiden sein. Diese Spannungsschwankungen werden jedoch für gewöhnlich geringfügig bleiben und nur unter besonders ungünstigen Umständen merkbar werden, im besonderen da die Stärke der Motoren im allgemeinen 3 PS. nicht übersteigt. Es liegt die technische Möglichkeit vor, diese Schwankungen in den Grenzen von 1,5—2 v. H. zu halten, die für die Lichtstärke als unschädlich angesehen werden kann[1]). Auch kam hinzu, daß der Betrieb der meisten Elektromotoren um sechs Uhr abends beendigt ist, so daß an den Winterabenden eine nennenswerte Beeinflussung nicht vorhanden ist. Der Gleichstrom würde zwar für die Abnehmer in den Bogenlampen günstigere Lichtausbeute ergeben haben, für Glühlicht jedoch sind beide Stromarten in ihrer Wirkung als völlig gleich zu betrachten.

Das Kabelnetz wird bei Lieferung von Gleichstrom für Licht umfangreicher. Es treten zu den Verteilungsleitungen noch die Speiseleitungen für Gleichstrom.

Die Anlagekosten des Elektrizitätswerkes würden bei Gleichstrom infolge des Ausbaues der Unterstation in der Stadt um 12—15 v. H. höher sein. Dazu kommt der in diesem Falle dezentralisierte Betrieb. Die Unterstation erfordert besonderes Personal. Die Betriebskosten konnten dafür um 20 v. H. höher als bei Drehstrombetrieb veranschlagt werden.

---

1) Für den Motorenbetrieb sind als maximale Spannungsverluste in dem Verteilungsnetz 5 v. H. zugelassen.

Wenn hiernach zwar hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Güte der Beleuchtung das System der Umformung auf Gleichstrom dem reinen Drehstromsystem etwas überlegen ist, so konnten diese Vorteile gegenüber den sonstigen Vorzügen des letzteren Systems doch nicht den Ausschlag geben und es wurde das reine Drehstromsystem gewählt, dessen einfache Betriebsweise besonders besticht und das alle billigen Ansprüche hinsichtlich der Güte des Lichtes erfüllt[1]).

Sicherung des Betriebes und Einrichtung der Fernleitungen.

Es kann nicht in Abrede gestellt werden, daß die Kraftübertragung mit dünnen Drähten auf Hunderte von Kilometern durch bewaldete und rauhe Gebirgszüge und sonst entlegene Gegenden einige Betriebsunsicherheit in sich schließt wegen der Gefahren durch Blitzschäden an Freileitungen und mutwillige Zerstörungen, wenn man zwar durch Blitzschutzvorrichtungen und doppelte Leitungen den Betriebsstörungen nach Möglichkeit entgegen arbeiten kann. Bei kürzeren Strecken hat man deswegen wohl Kabel gewählt, wenn dadurch auch erhebliche Mehrkosten entstehen. Bemerkenswerte Verhandlungen sind über die Sicherheit des Betriebes in der neuesten Zeit in San Francisco gepflogen worden[2]). Dort besteht für Kraftabgabe eine Gesellschaft, die den Strom von einigen tausenden Pferdestärken aus Wasserkraftanlagen entnimmt, von denen keine näher als etwa 220 km der Stadt liegt. Diese Gesellschaft beabsichtigte, um eine bessere Ausnutzung ihrer Anlagen zu erzielen, die Lieferung von Kraftstrom für die Straßenbahnen. Dabei hielt man zur größeren Sicherheit des Verkehrs eine Aushilfe am Ort für notwendig und wählte dazu Gaskraft mit dem Hinweis, daß Dampfmaschinen nicht wohl immer betriebsbereit gehalten werden könnten und bei etwaigen Stromunterbrechungen ihre Anheizung 1—1 $^1/_2$ Stunden erfordere. An anderen Orten hat man jedoch Dampfanlagen eingerichtet oder in Unterstationen Akkumulatoren aufgestellt, die in Zeiten geringeren Strombedarfs gespeist werden und dann imstande sind, bei Unfällen mit selbsttätiger Einschaltung die

1) Näheres über die maschinelle und elektrische Einrichtung des Werkes s. Zeitschrift für Bauwesen. 1904 S. 639.

2) Eng. Rec. 30. 9. 1905.

Stromlieferung für einige Stunden zu besorgen. Auch weist Amerika Beispiele auf, wo mehrere Wasserkraftwerke mit verschiedenen Leitungen in ein Verteilungsnetz arbeiten, wie dies auch in großen Verbrauchsgebieten, die in Einzelkraftwerke geteilt sind, bei Dampfelektrizitätswerken der Fall ist und wodurch man eine erhöhte Sicherheit nicht nur bei plötzlichen Stockungen hat, sondern auch — bei Wasserkraftzentralen — gegen Schwankungen der Wasserkräfte in trocknen Zeiten in verschiedenen Niederschlagsgebieten. Ähnliche Verhältnisse finden sich in der Schweiz, deren weitverzweigtes Kraftverteilungsnetz die gegenseitige Aushilfe der Elektrizitätswerke leicht ermöglicht. In Deutschland wird eine solche gemeinsame Schaltung der Elektrizitätswerke geplant, die in Schlesien an den Talsperren von Marklissa und Mauer errichtet werden.

Es mögen hier einige Mitteilungen über Betriebsergebnisse an langen Kraftübertragungen in Kalifornien erwähnt werden, die Baum in der Denkschrift des Intern. Kongresses zu St. Louis 1904 macht[1]). Die Kalifornische Gas- und Elektrizitätsgesellschaft besitzt rd. 1200 km Leitung mit 40000 bis 50000 Volt Betriebsspannung und außerdem viele Leitungen mit geringeren Spannungen von 5000 bis 30000 Volt. Das Verteilungsnetz erstreckt sich von den Bergen der Sierra Nevada bis zur Bai von San Francisco. Die Gesamtleistungsfähigkeit ist etwa 50000 KW. Die längste Entfernung, auf welche elektrische Energie ständig abgegeben wird, beträgt 300 km. In den Gebirgsgegenden werden die Täler mit Spannweiten von 300 bis 500 m — zum Teil mit Aluminiumdrähten — überschritten.

Die Betriebsaufsicht wird ein- bis dreimal in der Woche durch Wärter ausgeübt, die wichtigen Punkten zugewiesen sind und für den Notfall jederzeit in Bereitschaft stehen. Leitungsstörungen wurden veranlaßt durch zu schwache Glocken, Schußverletzungen, Anfliegen großer Vögel (Kraniche, Gänse), Sturm und sonstige Zufälligkeiten. Die größte Schwierigkeit bereitete der Nebel, der sich in der Nähe des Ozeans und der Meeresbuchten auf die Glocken niederschlägt und die Oberflächenisolation derart verringert, daß die hölzernen Bolzen, Querträger und Maste in Gefahr geraten, Feuer zu fangen. Störungen durch Schnee sind nicht beobachtet worden, ebenso nicht durch Blitze — ein Umstand,

1) E. T. Z. 1906.

der auf die gute Wirkung der Schutzeinrichtungen (Hörnergattung) zurückgeführt wird. Die Transformatoren erwiesen sich als ein sehr befriedigender Teil der Anlage. Mit den hohen Spannungen bis zu 50000 Volt in den Leitungen werden große Städte durchschritten, ohne daß sich schädliche Einwirkungen auf die Fernsprecheinrichtungen ergeben hätten. Die Betriebssicherheit des Verteilungsnetzes ist nach Art der vorerwähnten Parallelschaltung mehrerer Kraftwerke wesentlich erhöht worden. Auf diese Weise war es u. a. möglich, als gelegentlich eins

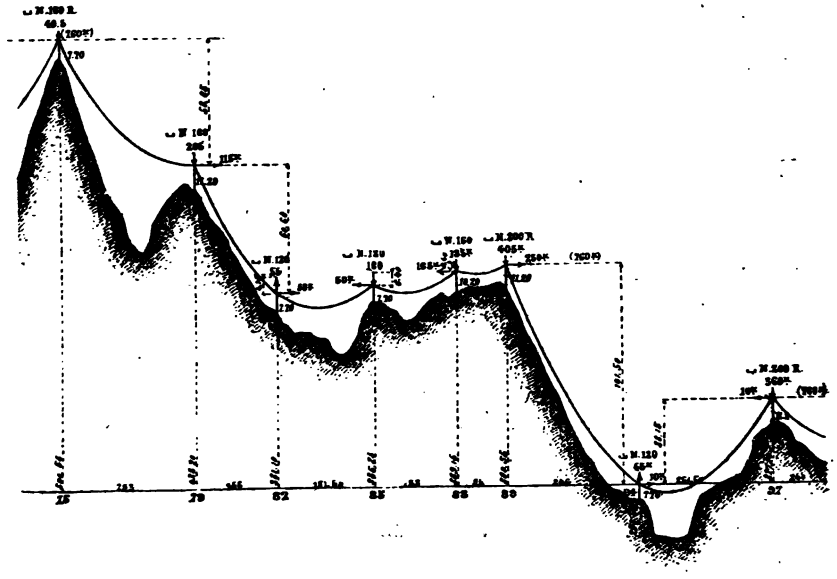


Abb. 52. Gebirgsstrecke der Kraftübertragungsanlage von Zogno am Bremboflusse nach Monza und Mailand. Gesamtlänge: 60 km.
Kennzeichnend sind die großen Spannweiten bis 280 m beim Überschreiten der Gebirgsschluchten.

der Werke eine vollkommene Betriebsunterbrechung erlitt, das zugehörige Netz von einer anderen, 560 km entfernten Zentrale zu versorgen.

Beachtenswert sind auch die Einrichtungen der Fernleitungen an den oberitalienischen Kraftanlagen, wovon die Abb. 52, 53 und 54 einige Beispiele geben. Semenza[1]) hebt hervor, daß sich Italien in der

1) Install. Hydro-Électr. de la Haute Italie. Mém. Soc. Ing. Civ. 1905.

Technik der elektrischen Fernübertragung zu einer besonderen Eigenart durchgearbeitet hat. Es tritt hier das Bestreben zutage, bei Wahrung vollster Betriebssicherheit mit dem geringsten Materialaufwand einen Höchstwert an Erfolg zu erzielen. Der Ausbau der Leitungen und die konstruktiven Einzelheiten sind daher außerordentlich entwickelt.

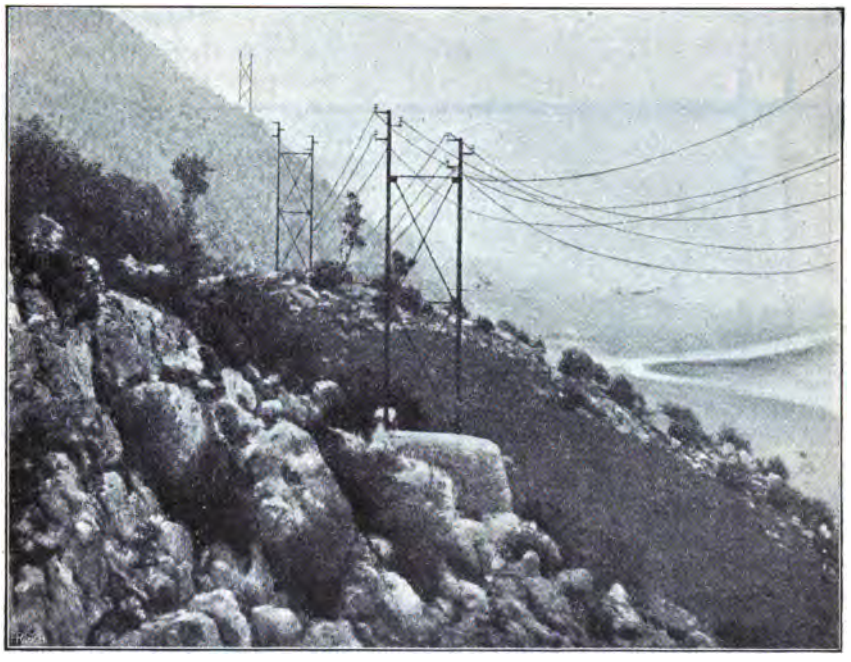


Abb. 53. Gebirgsstrecke der Fernleitung von Zogno am Bremboflusse nach Monza und Mailand.

Die Drähte spannen sich zwischen elastischen eisernen Masten, die durch Andreaskreuze verbunden sind. Leistung: 10000 PS.

Kennzeichnend sind die gerade Linienführung quer durch das Gelände und leichte eiserne Maste, die sich billiger erwiesen haben sollen als Holzmaste.

Über die Gestaltung von Freileitungen in Frankreich s. De La Brosse, Les Install. Hydro-Électr.

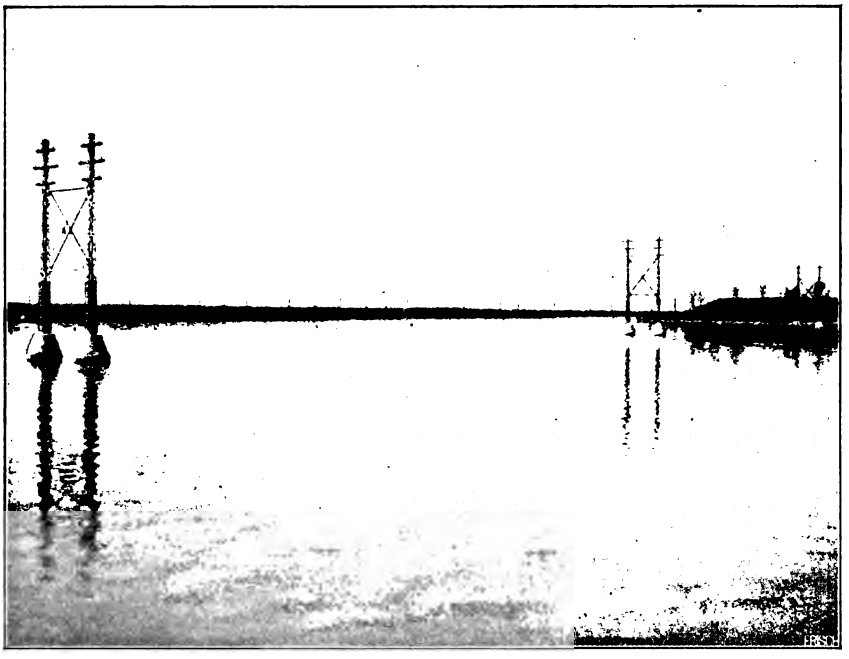


Abb. 54. Lagunenstrecke der Fernleitung vom Cellina-Kraftwerk nach Venedig. Gesamtlänge: 90 km. Leistung: 15600 PS. Spannung: 30000 Volt.

Wirkungsgrad der Umsetzung und elektrischen Fernübertragung der Wasserkräfte.

Es ist für die Aufstellung wirtschaftlicher Berechnung notwendig, sich den Wirkungsgrad und die Kraftverluste, die bei der Umsetzung der Wasserkräfte und ihrer Fernleitung entstehen, in einigen Mittelwerten zu vergegenwärtigen. Man wird bei 3000—5000 Volt Erzeugungsspannung, einer Fernleitungshochspannung bis 40000 Volt und den üblichen Gebrauchsspannungen von 120—220 Volt und auf Entfernungen bis etwa 50 km für vorläufige Aufrechnungen folgende Werte annehmen dürfen:

	Wirkungsgrad v. H.
Generator (Gleichstrommaschine oder Wechselstrommaschine)	93 bis 95
Transformator im Kraftwerk	97
Hochspannungsleitung	95
Transformator in der Unterstation	98

	Wirkungsgrad v. H.
Zuleitung von der Unterstation zu den Einzeltransformatoren	98 bis 99
Transformierung auf die Gebrauchsspannung und bis zur Abgabe	96
Akkumulatoren	75 bis 80
Bufferbatterien	85 bis 90
Umformung, Wechselstrom in Gleichstrom	90
Motor	90

Der Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Umsetzung und Übertragung bis zur Abgabe an die Verbraucher ist somit i. M. etwa 80 v. H. Dazu treten dann noch die Verluste in den Hausleitungen und Werkstattmotoren, die man i. M. zu 10—15 v. H. annehmen kann. Weitere Verluste sind verbunden, wenn etwa die Umformung von Wechselstrom (Drehstrom) in Gleichstrom erforderlich ist, wobei der Wirkungsgrad i. M. 90 v. H. ist. Die Akkumulierung hat 20—25 v. H. Kraftverlust zur Folge.

Demgemäß berechnet sich die nutzbare Leistung der rohen Wasserkraft:

	Wirkungsgrad	
	ohne Fernleitung	mit Fernleitung
Turbine	0,80	0,80
Elektrische Umsetzung	0,95	0,80
Arbeitsmotor	0,90	0,90
Nutzbare Leistung der rohen Wasserkraft	0,685	0,576

Es mag hier interessieren, die Annahmen für die Energieverluste bei den Voruntersuchungen für ein amerikanisches und ein englisches Wasserkraftunternehmen kennen zu lernen.

1. Wasserkraftwerk am Bishop-Creek in Kalifornien[1], 1904/05 in der Ausführung begriffen.

Leistung 2500 PS.
Gefälle 320 m.
Übertragungslänge 145 bis 192 km.
Spannung $\frac{60000}{15000}$ (Aluminiumkabel).

1) Engineering News 1905.

Wirkungsgrade.	v. H.
Peltonräder	80
Generator	94
Transformator (Erhöhung)	97
Fernübertragung (Aluminiumnetz)	90
Transformator (Erniedrigung)	97
Verteilungsnetz am Verbrauchsort	95
Insgesamt bis zum Abnehmer	60,4.

Die nutzbare Leistung beim Verbraucher würde demnach sein:

$$60{,}4 \cdot 0{,}9 = 0{,}54.$$

2. Kraftanlage bei Invernglas in Schottland[1]).

Leistung 6000 PS.
Gefällhöhe 210 m.
Übertragungslänge 35 km.
Spannung 40000 Volt.

Wirkungsgrade.	v. H.
Offene Zuleitung im Betriebskanal	75
Rohrleitung	75
Turbinen	75
Generator	94
Transformator $\frac{6000 - 10000}{40000}$	97
Hochspannungsleitung (40000 Volt) auf 35 km	93
Transformator $\frac{40000}{10000}$	97
Verteilungsnetz (Kabel) 6000 Volt	95
Gesamtwirkungsgrad	58,6.

Bei der Kraftanlage von Champ (Isère) werden von der Rohkraft 7000 PS. nach Umsetzung und elektrischer Übertragung bis auf 50 km (26000 Volt) nutzbar an die Verbraucher 4060 PS. abgegeben. Das entspricht einem Wirkungsgrad von 58 v. H.

Intze fand bei seinen Untersuchungen über die Nutzbarmachung von Wasserkräften (13000 PS.) für industrielle Zwecke durch den Masurischen Schiffahrtskanal[2]) für die Kraftverminderung der Anfangs-

1) Engineering 1904. 2) Berlin 1894.

leistung infolge von Verlusten im Leitungsnetz und für die Zunahme der Kosten durch den Geldaufwand der elektrischen Übertragung die Werte der nachstehenden Tabelle 11. Dabei betragen die Kosten der Nutzpferdekraft am Gewinnungsort 17 Mark (7200 Arbeitsstunden jährlich).

Tabelle 11. Kostenzunahme und Kraftabnahme bei elektrischer Kraftübertragung am Masurischen Schiffahrtskanal.

Gewinnungsort der Wasserkraft	Verwendungsort der elektrisch übertragenen Kraft	Entfernung beider Orte in km	Größe der Kraft		Kosten für 1 PS. am Verwendungsort, jährlich
			am Gewinnungsort	am Verwendungsort	
			PS.	PS.	Mk.
Allenburg	Königsberg	52	1776	1220	65
Allenburg	Wehlau	14	1776	1460	42
Allendorf	Königsberg	60	1944	1300	70
Georgenfelde	Insterburg	40	2400	1730	58
Georgenfelde	Gumbinnen	60	2400	1600	70
Georgenfelde	Königsberg	70	1540	1540	78

Intze rechnet mit Übertragungseinheiten von 1000 PS. und Spannungen in der Fernleitung von 10000 Volt. Bei den heutigen hohen Spannungen bis 60000 Volt und mehr würden sich die Ergebnisse günstiger stellen.

Kraftübertragung ohne Draht.

Es soll nicht unterlassen werden, an dieser Stelle auch des neuesten Zieles der elektrischen Kraftleitung zu gedenken — der Übertragung ohne Draht. Der Engländer Crompton bezeichnet dies als eine Aufgabe, die jetzt beginnt das Gebiet des Physikers zu verlassen und in das des Ingenieurs überzugehen [1]). Es ist schwierig von der Lösung mit einiger Sicherheit oder Hoffnung zu sprechen. Aber wenn es möglich geworden ist, elektrische Schwingungen ohne das leitende Medium auf dem Gebiet der Telegraphie mit Schwachströmen zu übermitteln, wer wollte ableugnen — meint Crompton —, daß der menschliche Erfindungsgeist Vorrichtungen ersinnen kann, die die fernab an Wasserfällen gewonnenen Kräfte in elektrischen Hochspannungen fortschleudern nach entfernten Gebrauchsstätten, wo sie zu Kraft und Licht gesammelt werden. Wie berichtet wird, soll es bei Versuchen auf der Weltausstellung in

1) Unsolved problems in electrical engineering, Engineering 1905. Vgl. auch Electrical World v. 5. 3. 1904: »Transmission of electrical energy without wires«.

St. Louis 1904 gelungen sein, in kleinem Umfange die Kraftübertragung ohne Draht zu bewerkstelligen, wenn auch mit geringem Wirkungsgrade. Und man wird dem englischen Forscher zustimmen können, wenn er meint, daß die Folgen, welche sich ergeben würden aus der Luftübertragung von Kräften in bemerkenswerter Größe in jeder Hinsicht so außerordentlich sein würden, daß sie unsere sozialen und politischen Ideen umwälzen und alle unsere gegenwärtigen Lebensverhältnisse tief beeinflussen würden[1]).

E. Vereinigung von Wasser- und Wärmekraft. Wasserkraftnutzung an kanalisierten Flüssen.

Vereinigte Wasser- und Wärmekraftanlagen im allgemeinen.

Die ungleichmäßige Wasserführung der natürlichen Gerinne kann die Ausnutzung einer Wasserkraft unmöglich machen, wenn in trockner Zeit nicht wenigstens ein kleinster, wirtschaftlich noch nutzbarer Zufluß übrig bleibt. Es ist schon in Abschn. III. A auf die Notwendigkeit des Ausgleichs des Wasserabflusses durch Sammelbecken in solchem Falle hingewiesen. Wo aber eine Regulierung des Wasserlaufs nicht durchführbar ist, wird man zu anderen Mitteln greifen müssen, um eine ausreichende Kraftabgabe jederzeit zu ermöglichen. Dies kann durch ein ergänzendes anderes Wasserkraftwerk oder durch Wärmekraftmaschinen geschehen. Eine solche Ergänzung und Betriebsgemeinschaft weisen z. B. die Kraftwerke von Rheinfelden a. Rh. und Beznau a. d. Aare auf. Ersteres, das eine Erweiterung seiner Anlagen durch ein weiteres Kraftwerk bei Wyhlen-Augst a. Rh. plant, wird z. Zt. von Beznau aus unterstützt, nachdem die Kraft von Rheinfelden vollen Absatz gefunden hat. Der Vorteile, die sich daraus bei irgend welchen Störungen des Betriebes der Überlandzentralen ergeben, ist bereits im vorigen Abschnitt gedacht.

Oft aber wird man zu einer Aushilfsanlage im unmittelbaren Zusammenhange mit dem Wasserkraftwerk übergehen müssen. Eine solche doppelte Einrichtung von Wasser- und Wärmemaschinen begegnet im allgemeinen, hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Betriebes, einigem Mißtrauen. Denn der Aufwand für die Bauten und Maschinen ist fast

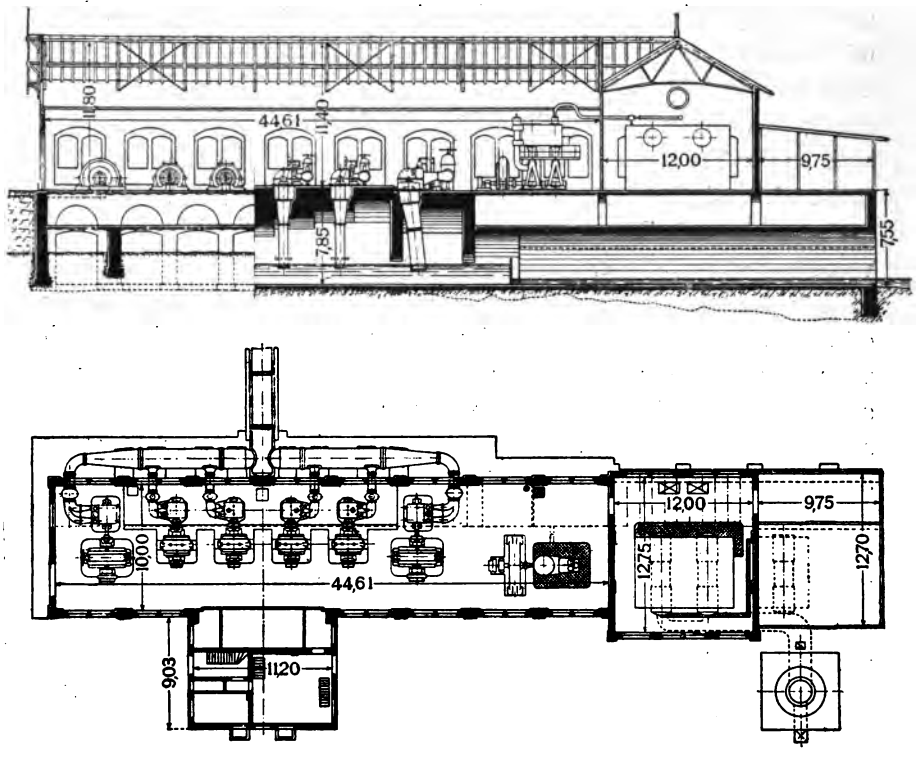
1) Über neuere französische Versuche s. La Revue Technique. 1905 S. 753. S. auch Rigaische Industrie-Ztg. 1906 S. 15 u. 74.

der zweifache. Dementsprechend gestalten sich die vermehrten Kosten des gemischten Betriebes, der Unterhaltung und Tilgung, wenn zwei gleichwertige Werke ständig arbeitsfähig gehalten werden müssen. Und doch meint v. Miller, daß der Nachteil zu kleiner Wasserkräfte, der eben darin besteht, daß sie durch Wärmemotoren ergänzt werden müssen, häufig überschätzt wird. Es ist richtig, daß in den alten kleinen Mühlenanlagen der Triebbäche die Werke mit diesem gemischten Kraftsystem meist mit wenig Erfolg gearbeitet haben. Aber in den großen Wasserkraftzentralen mit Dampfaushilfe gestalten sich die Betriebsergebnisse vorteilhafter, und in der neueren Zeit sind eine Reihe solcher Betriebsgemeinschaften in Deutschland wie in anderen Ländern erstanden. Es dürften diese günstigeren Ergebnisse in der Eigenart der Betriebsgestaltung der Großunternehmungen liegen. Die Überlandzentralen und städtischen Elektrizitätswerke werden nur selten nach ihrer vollen Maschinenstärke ausgenutzt, wie die statistischen Nachweise ergeben; oft arbeiten sie nur mit einem Drittel und weniger ihrer ganzen Maschinenstärke. So erklärt es sich, wenn v. Miller an der Hand von Betriebsaufzeichnungen, die der Praxis entnommen sind, berechnet, daß eine Wasserkraft, deren stets vorhandene kleinste Leistung nur ein Drittel der erforderlichen Höchstleistung ist, 86 v. H. der Gesamtarbeit verrichtet, während für die ergänzende Wärmekraft nur 14 v. H. übrig bleiben [1]).

Daraus ergibt sich, wie in vorteilhafter Weise Dampfwerke zur Ergänzung von Wasserkraftanlagen herangezogen werden können. Zentralwerke, die öffentlichen Zwecken dienen und an die viele kleine Werkstätten und Lichtanlagen angeschlossen sind, müssen aus Gründen der Betriebssicherheit ohnehin einige Maschinensätze — vielleicht je einen auf 3. bis 4 Einheiten — zur Aushilfe haben. Dieser Umstand wie die erwähnte, meist nur teilweise Belastung geben ständig eine freie Dampfkraft, die für die Wasserkraft eintreten kann, wenn solche in trockner Zeit stark zurückgeht. Es ist also, ohne daß eine Dampfanlage über das an sich notwendige Maß vergrößert würde, die gegenseitige Ergänzung und zwar um so mehr vorhanden, als in der knappen Wasserführung des Sommers der geringere Energiebedarf für Lichtzwecke vorhanden ist. Eine derartige aus den Ergebnissen und Forderungen des praktischen Betriebes hervorgegangene Verbindung weisen z. B. die städtischen

1) Versorgung der Städte mit Elektrizität.

Wasserkraft-Elektrizitätswerke in Solingen und Nordhausen auf, s. Abschnitt V, 2, H, ferner das schweizerische Werk Kubel (Abb. 55).



Nach Elektr. Zeitschr.

Abb. 55. Wasserkraftwerk mit Dampfaushilfe (Elektrizitätswerk Kubel).
Maschinenstärke: 4 Turbinengruppen von je 500 PS., 2 Turbinengruppen von je 1000 PS., 1 Dampfdynamo von 1000 PS. Die Dampfaushilfe tritt während 30 bis 50 Tagen im Jahr in Tätigkeit. Doppelturbinen mit 6 m Sauggefälle und 300 bis 375 Umdrehungen in der Minute. Dampfanlage: Senkrechte Verbundmaschine mit 2 Wasserrohrkesseln. 150 Umdrehungen.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer solchen Betriebsgemeinschaft im gegebenen Falle wird eine genaue Aufrechnung nötig sein. Die Betriebskosten, die sich dabei für die Krafteinheit von 1 PS. ergeben, werden erkennen lassen, ob das Unternehmen in Wettbewerb treten kann mit einer reinen Wärmekraftanlage. Weiteres hierüber in Abschnitt IV.

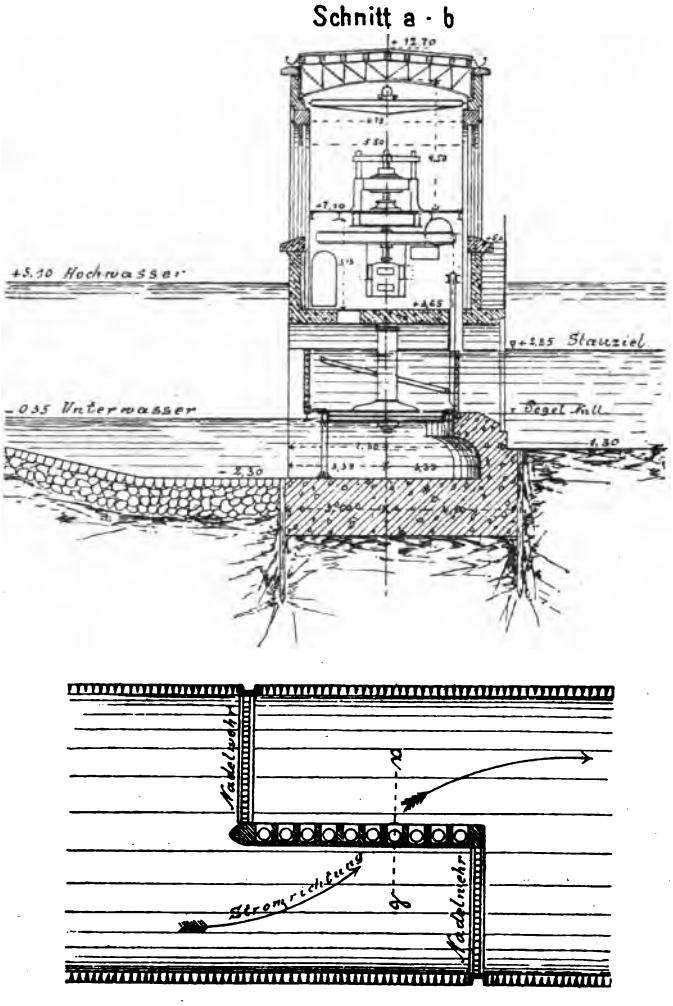
Wasserkraftnutzung an Kanälen und kanalisierten Flüssen.

Die Frage der gemeinsamen Arbeit von Wasser und Wärme hat in neuerer Zeit eine regere Anteilnahme an den kanalisierten Flüssen gewonnen, deren Schleusengefälle für die Krafterzeugung auszunutzen man bestrebt ist. Der geringere Wasserbedarf für die Schiffahrt, der sich auf den Verbrauch beim Durchschleusen der Schiffe beschränkt, läßt hier die Verwertung des größten Teiles vom natürlich vorhandenen Wasserabfluß für Kraftzwecke zu. Da an den Flüssen Hochwasser und Eisgang die Niederlegung der Wehre notwendig machen, wodurch das Gefälle beseitigt wird, so ist hier eine Wärmekraftaushilfe im allgemeinen in der vollen Stärke der Wasserkraft erforderlich. Nach dieser Richtung hin unterscheiden sich die Stauanlagen der neueren Kanalisierungen von den älteren Unternehmungen dieser Art. Die alten Wehre wurden in der Regel fest und mit hochliegendem Rücken erbaut; jetzt werden die Wehre beweglich gemacht. Die ältere Anordnung ist zwar der Kraftausnutzung günstiger, indem dabei das Gefälle nicht zu stark schwankt und auch bei höheren Wasserständen nicht ganz verschwindet, aber der Vorflut oft nachteilig[1]). Bei den neueren Konstruktionen (Nadelwehren) hat das Wasser nach der Wehrniederlegung einen ungehinderten Abfluß.

Die Lage des Kraftwerkes wird im Flusse selbst (Abb. 56) oder in einem seitlichen Arm (Triebwerkkanal) (Abb. 13 und 57) gewählt. Über die Zweckmäßigkeit beider Arten gehen die Ansichten auseinander. Als Vorteil der Anlage eines Pfeilers mit Kraftgebäude im Strom wird hervorgehoben, daß für den Bau die Ufer nicht in Anspruch genommen werden, wohingegen der Nachteil darin besteht, daß diese Anordnung nur möglich ist, wenn das Kraftwerk gleichzeitig mit dem Wehr hergestellt wird. Bei Anlage eines seitlichen Triebwerkkanals kann diese Entscheidung beliebig hinausgeschoben werden. Diese Bauart ist auch insofern günstiger, als sie für die Raumbemessung und -Verteilung mehr Spielraum läßt. Die Sicherung gegen Verunreinigungen und ein ruhiger Eintritt des Wassers in die Turbinen wird besser ermöglicht werden können. In Gersthofen wie auch bei der unten erwähnten Anlage von Jonage an der Rhone liegen Kraftwerk und Schleusen in einem langen Seitenkanal von 7,3 bzw. 19 km. Auch die eingehenden Untersuchungen

1) Röder, Ausnutzung der Wassergefälle zu Kraftzwecken. VII. intern. Schiffahrtskongreß 1898.

des österreichischen Wasserstraßenbeirates über die Ausnutzung der Wasserkräfte beim Bau der neuen Wasserstraßen[1]) kommen zu dem Ergebnis, daß es zweckmäßig erscheint, die Kraftwerke nicht bei den



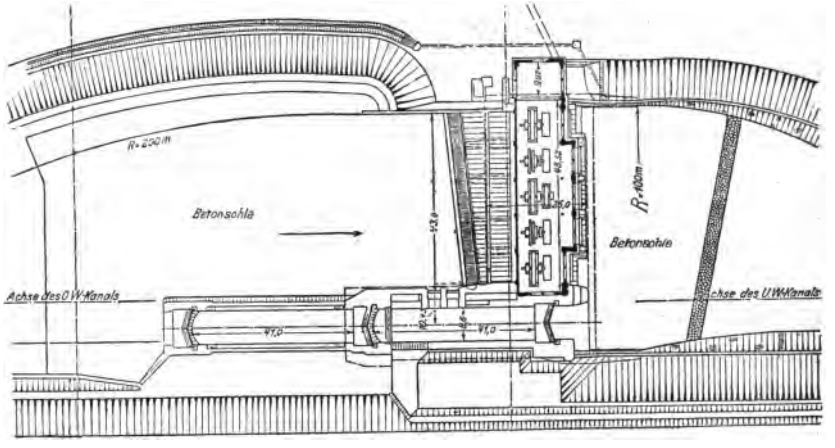
Nach Prüsmann, Wasserkräfte an Wehren.

Abb. 56. Hochwasserfreier Turbinenpfeiler mit Nadelwehr, mitten im Fluß liegend.

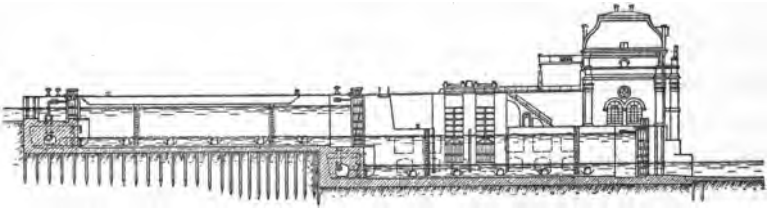
Wehren, sondern am Ende oder in der Mitte längerer Seitenkanäle anzulegen, wodurch man eine stärkere Ausnutzung der Wasserkraft erhofft.

1) Österreich. Wochenschr. f. d. öffentl. Baudienst 1905 Heft 15, 21 u. 22.

Es ist sicher, daß man auf letztere Weise eine größere Nutzhöhe gewinnt, und die Niederlegung des Wehres wird auf das Gesamtgefälle einen geringeren Einfluß ausüben. Die vermehrten Kosten des Seitenkanals finden darin ein Gegengewicht, sowie auch in dem Umstande, daß gegebenenfalls das Wärmeaushilfswerk fortfallen kann oder nur in geringerem Umfange notwendig werden wird. Jedenfalls wird diese Frage im Einzelfalle der Untersuchung bedürfen.



Ungef. Maßst. 1 : 2000.



Nach d. Bayr. Ind.- u. Gewerbeblatt.

Abb. 57. Kraftwerk mit Schleusenanlage in einem Seitenkanal (Gersthofen am Lech). Maschinenstärke: 5 Francis-Doppelturbinen von je 1500 PS. Schleusenanlage: zwei hintereinander geschaltete Kammerschleusen von 8,6 m lichter Weite und 41 m nutzbarer Länge. Gesamte Gefällhöhe: 10,0 bis 10,5 m.

Ausgeführte Anlagen zum gemeinschaftlichen Betrieb für Schiffahrts- und Kraftzwecke.

Die Kraftausnutzung an den Schleusengefällen gewinnt vermehrte Bedeutung, da der Kraftbedarf für Schiffahrtszwecke in neuester

Zeit zunimmt. Der lebhafte Schiffsverkehr verlangt eine Beleuchtung der Schleusen an den Abenden und zur Nachtzeit; gegebenenfalls kann dies für eine Schiffahrtsstraße, die stark befahren wird, in ihrer ganzen Länge nötig werden. Der elektrische Antrieb erleichtert die Bewegung der Schleusentore, Schützen, Spills u. a. m. In besonderem Maße aber wird Kraft erforderlich bei der Einführung des mechanischen Schleppzuges.

Wohl die älteste Art der Ausnutzung der Wasserkräfte für Schiffahrtszwecke bietet in Deutschland der Oberländische Kanal bei Elbing, an dem die Kraft für den Schleppzugbetrieb auf den 5 schiefen Ebenen an den einzelnen Gefällstufen (19 bis 25 m) gewonnen und durch Seilantrieb nutzbar gemacht wird.

Auch die Kraftausnutzung an den kanalisierten Flüssen hat zum Teil schon praktische Gestaltung angenommen. Dabei hat die gewerbliche Betätigung eine nicht unerhebliche Belastung, z. B. bei dem vorerwähnten Elektrizitätswerk Gersthofen erfahren. Dieses Werk hat zugleich mit der Genehmigung die beträchtlichen Kosten für die Herstellung von Floßschleusen und zwei hintereinander geschalteten Kammerschleusen von 8,6 m l. W. und 41 m Länge, sowie für den erweiterten Ausbau des Betriebskanales für Schiffahrtszwecke übernehmen müssen[1]). Immerhin erweist sich die Verwertung der erschlossenen 6000 PS. günstig. Es sei ferner bemerkt, daß Frankreich in dem Werke Jonage der Stadt Lyon eine solche gemeinschaftliche Betriebsanlage für Schiffahrts- und Kraftzwecke besitzt. Auch hier sind 2 Schleusen hintereinander geschaltet von 4,8 bzw. 6,2 m Gefälle. Über gleiche Einrichtungen an den oberitalischen Flüssen vergleiche man u. a. den Bericht von H. Keller über den zehnten internationalen Schiffahrtskongreß in Mailand im Zentralbl. d. Bauverw. 1905, und Allgem. Bauztg. 1906 S. 34.

Die Ausnutzung der Schleusengefälle für die elektrischen Schleuseneinrichtungen und die Beleuchtung findet seit kurzem am Oder-Spreekanal sowie bei der kanalisierten Moldau statt. Anfänglich erfolgte am Oder-Spreekanal seit Inbetriebnahme des Kanals im Jahre 1891 — ebenso wie an der Mühlendammschleuse in Berlin — die Umsetzung der Wasserkraft in Druckwasser, womit die Schleusentore und Schützen bewegt wurden. Im allgemeinen ist der Kraftbedarf für die Betriebsein-

1) Die Elektrizitätswerke in Gersthofen. Bayr. Industrie- u. Gewerbeblatt 1904.

richtungen einer mittleren Schleuse etwa 20 bis 30 PS.[1]). Bei diesem elektrischen Kleinbetriebe finden meist Akkumulatoren Verwendung. Sie werden zwischen den Dynamos und dem Kraftverteilungsnetz eingeschaltet, einmal weil ein unmittelbarer Antrieb bei dem nur zeitweisen Gebrauch der Motoren zu Stößen Anlaß geben würde, sie wirken dann also als Puffer; dann aber dienen die Akkumulatoren zur Aufspeicherung von Kraft. Die Motoren der Schleusentore und Schützen arbeiten mit Unterbrechungen und jedesmal nur kurze Zeit. In den Betriebspausen kann die Kraftaufsammlung erfolgen und dadurch die Leistung in der Zeiteinheit entsprechend vergrößert werden. Die Ausnutzung der Gefälle geht an den kanalisierten Flüssen bis auf ein Mindestmaß von etwa 0,5 m herab.

Mit dem elektrischen Schleppzug ist neuerdings am Teltowkanal bei Berlin der Anfang gemacht worden und der Rhein-Hannover und Dortmund-Emskanal werden diese Betriebsart weiter ausbauen. Auch an der Moldau hat man dies geplant. Dazu werden bedeutende Kraftmengen gebraucht und es scheint, daß auf diesem Gebiet die Verwertung der Wasserkräfte, wenn sie in der Nähe der Betriebsstätten gewonnen werden können, berufen ist, eine gewichtige Rolle zu spielen. Günstig fällt bei dieser Kraftverwertung an den kanalisierten Flüssen in die Wagschale, daß in den Zeiten der niedergelegten Wehre auch der Kraftbedarf ruht, wohingegen bei den höheren Wasserständen, die eine Verringerung der Wasserkraft mit sich bringen, die Dampfkraft ergänzend eintreten kann. Zudem werden sich die Interessen des Schiffahrts- und Kraftbetriebes, die vielleicht Reibungsflächen bieten, wenn beide Betriebe getrennte Unternehmungen bilden, günstig ausgleichen, wenn der Staat, der den Schiffahrtsbetrieb leitet und überwacht, zugleich den Kraftbetrieb für Schiffahrtszwecke in der Hand hat.

Dieser Weg der Vereinigung der Kraftausnützung mit den Interessen der Schiffahrt wird heute auch in Amerika beschritten. Am Tennesseeflusse, Tenn., entsteht gegenwärtig eine Kraftanlage für die Nutzbarmachung von 56000 PS. Dieser Fluß setzt der Schiffahrt durch seine Stromschnellen Hindernisse entgegen, und die Regierung ist z. Zt. nicht gewillt, das erforderliche Geld für ihre Beseitigung zu bewilligen, sie hat

1) Die Doppelschleusenanlage von Horin (Moldau) hat eine Turbine von 31 PS. Leistung. Näheres über die elektrische Ausrüstung: Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1906 S. 197.

aber die Anlage des Kraftwerkes an geeigneter Stelle genehmigt. Durch einen 600 m langen wehrartigen Aufbau teils als Mauer, teils in Erdschüttung wird ein Aufstau von etwa 12 m über Niedrigwasser herbeigeführt werden. In dem Damm ist eine Schiffahrtsschleuse vorgesehen, die 90 m Länge, 18 m Breite und 2,50 m Wassertiefe hat. Es ist wahrscheinlich das erste Beispiel, bemerkt die Zeitschr. Eng. Rec., daß privaten Interessen gestattet worden ist, einen Fluß, der so große Bedeutung für die Schiffahrt hat, aufzustauen und die ausnahmsweise Genehmigung ist aus dem Wunsche der Regierung hervorgegangen, die Schiffbarkeit des Tennesseeflusses zu verbessern[1]).

Über die wirtschaftliche Bedeutung der Wasserkraftnutzung an Kanälen und kanalisierten Flüssen s. Abschn. IV, C.

1) Eng. Rec. v. 4. 11. 1905.

IV. Die wirtschaftlichen Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte.

A. Die Kosten der Wasserkräfte.

Wenn sich in den vorhergehenden Abschnitten für die technischen Anordnungen der Wasserkraftanlagen einige leitende Gesichtspunkte haben entwickeln lassen, so ist es schwierig, für die Ermittlung der Baukosten allgemein gültige Anhaltepunkte zu geben. Es sind hier nicht, wie bei einer Dampfkraftanlage in der Regel normale und im ganzen gleichbleibende Verhältnisse bestimmend, sondern die auf die Krafteinheit bezogenen Kosten werden außerordentlich durch die Gunst oder Ungunst der örtlichen Umstände — die notwendigen Aufwendungen für die Wasserfassung, für Gründungen und die Fernübertragung — beeinflußt. Es ist ausschlaggebend, ob für den Ausgleich des Wassers natürliche Seen benutzt werden können oder ob Sammelbecken mit kostspieligen Sperrmauern hergerichtet werden müssen. Und mit den gleichen Geldmitteln kann es je nach der Geländegestaltung möglich sein, ein niederes oder hohes Nutzgefälle zu erschließen. Mit jedem Meter Gewinn wächst aber die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens unter sonst gleichen Umständen, nicht nur durch die Kraftvermehrung, sondern auch infolge der kleineren Turbinen in den Hochdruckwerken, die ihrerseits wieder kleinere Bauten und meist einfachere Gründungen gestatten. Hochdruckwerke sind daher in der Einheit im allgemeinen billiger als Niederdruckwerke, und im gleichen Sinne wirkt die Nutzbarmachung einer zentralen Kraft gegenüber der Verzettelung in kleine Einzelanlagen. Alle die Vorteile einer gegebenen örtlichen Lage auf das beste auszunutzen, ist die Aufgabe und das Geschick des Ingenieurs.

Wenn somit die Abwägung der Kosten sehr mit den Einzelheiten der technischen Konstruktionen zusammenhängt und im Einzelfalle nur an

der Hand eines Entwurfs oder doch wenigstens einer Skizze nach Erfahrungssätzen wird erfolgen müssen, so soll doch allgemein hervorgehoben werden[1]), daß den Hauptanteil an den Gesamtkosten von Wasserkraftanlagen die Aufwendung für die Wasserfassung, Aufspeicherung, Zuleitung und die baulichen Anlagen des Kraftgebäudes verursacht, der gegenüber die Ausgaben für die Maschineneinrichtung wesentlich zurücktreten[2]). Einen bedeutenden Anteil daran nimmt aber auch die Fernleitung bei größeren Übertragungsstrecken[3]). Weiterhin dürfen die Kosten des Grunderwerbs der z. B. bei Talsperrenanlagen ansehnlichen Grundflächen, zumal wenn der Ankauf von Gehöften oder ganzen Ortschaften nötig wird, nicht außer acht bleiben[4]), ebensowenig die Entschädigungen, die an die Anlieger des in Beschlag genommenen Wasserlaufs für die Wasserentziehung gezahlt werden müssen. Diese letztere Frage tritt vornehmlich auf, wenn das Wasser aus dem natürlichen Gerinne in ein anderes Abflußgebiet abgeleitet wird. Zeitweilige Schädigungen unterhalb liegender Triebwerke können überdies sich bemerkbar machen, wenn große Kraftwerke in Sammelteichen Aufstauungen vornehmen und diesen Vorrat dann in kurzer Zeit aufarbeiten. Kleinere Triebwerke können diesen plötzlichen Ansturm dann nicht bewältigen und müssen das Wasser ungenutzt abfließen lassen.

Wenn bei dem Aufstauen in Sammelbecken landwirtschaftliche Wiesenbewässerung im unteren Tale zu berücksichtigen ist, so kann diese durch Abgabe von Wasser zu Zeiten, in denen die Anfeuchtung oder düngende Überflutung erfolgen muß, schadlos gehalten werden. Andernfalls wird die geringere Ertragsfähigkeit der weniger gut bewässerten Wiesen in Geldeswert ausgeglichen werden müssen. Die Schädigung einer Wasserkraft ergibt sich aus der Verminderung des Wasserabflusses und dem Rohgefälle des betreffenden Werkes. Dieser Schaden kann sich steigern,

1) Vgl. Abschn. II.

2) Anders gestaltet sich das Kostenverhältnis bei den Dampf-Elektrizitätswerken. Hier rechnet man im Durchschnitt

auf die Maschinen	$^1/_3$	der gesamten Herstellungskosten.
» das Leitungsnetz	$^1/_3$	
» die Gebäude	$^1/_4$	
» sonstige Ausrüstung und Nebeneinrichtungen	$^1/_{12}$	

3) Beim Wasserkraft-Elektrizitätswerk Rheinfelden beträgt der Anteil der Kosten für das Leitungsnetz etwa 33 v. H. der Gesamtanlagekosten, in Kubel 24 bis 30 v. H.

4) Die Grunderwerbskosten haben sich bei neueren Talsperrenanlagen auf 10 bis 20 v. H. der Gesamtkosten belaufen.

wenn infolge der Triebwasserverkleinerung die Gesamtanlage die Nutzbarkeit überhaupt verliert oder wenn zur Aufrechterhaltung der Betriebsfähigkeit eine Dampfaushilfe notwendig wird. Die Entschädigung wird in barem Gelde erfolgen können oder auch durch Abgabe elektrischer Kraft aus dem neugeschaffenen Werke. Der Wert einer Wasserkraft wird dabei oft in der Weise bestimmt, daß man die Herstellungskosten für eine Dampfanlage von gleicher Leistungsfähigkeit ermittelt und die Aufwendungen berechnet, die nötig sein würden, um dieses Dampfwerk dauernd in Betrieb zu halten. Die Summe aus den Baukosten und den kapitalisierten unmittelbaren Betriebskosten der Dampfanlage ergibt dann den gesuchten Wert der Wasserkraft.

Über bemerkenswerte Vereinbarungen in solchem Falle siehe Borchardt, Die Remscheider Stauweiheranlage.

Ungeachtet aller dieser Abhängigkeit der Kosten der Wasserkräfte von den örtlich gegebenen Umständen mag es von Interesse sein, das Ergebnis einiger Ermittelungen kennen zu lernen, nicht so sehr um die hier gegebenen Zahlen als Unterlage bei Kostenberechnungen zu benutzen, als vielmehr um allgemeine Anhaltspunkte für die Beurteilung zu gewinnen und um Vergleiche anstellen zu können. Dazu mögen die nachstehenden Tabellen dienen. Tabelle 12 gibt die Kosten von Wasserkräften, bezogen auf 1 Pferdestärke als Einheit, nach Berechnungen v. Millers auf Grund von Ausführungen und Entwürfen.

Die Zahlen dieser Tabelle erweisen, wie sich mit zunehmender Wassermenge und mit der Konzentrierung des Gefälles die Einheitskosten für 1 PS. herabmindern. Die geringsten Einheitskosten ergibt die Ausnutzung der Gebirgsflüsse unter Anwendung sehr hoher Gefälle. v. Miller zieht daraus die Folgerung, man müsse die Gefälle nach Möglichkeit zusammenziehen, um große Gefällstufen ausnutzen zu können. Wo große Gefälle nicht zur Verfügung stehen, sollten nicht wie bisher nur die kleinen Wassermengen ausgebaut werden, sondern es sollten namentlich auch die großen Wassermengen der Flüsse — soweit dies mit den Interessen der Schiffahrt und Landwirtschaft vereinbar ist — herangezogen werden.

Die Tabelle 13 ist eine Zusammenstellung über Baukosten von Wasser- und Dampfzentralen an kanalisierten Flüssen und ist ein Auszug aus den von Prüsmann in der Schrift »Ausnutzung der Wasserkräfte an Wehren kanalisierter Flüsse«[1]) gemachten Angaben. Die Tabelle ist deswegen

1) IX. Intern. Schiffahrtskongreß 1902.

Tabelle 12. Kosten von Wasserkräften[1]).

	Kleine Leistungen				Mittlere Leistungen				Große Leistungen							
	Mäßige Relativgefälle, kleine absolute Gefälle				Günstige Relativgefälle, mittlere absolute Gefälle, Ausnutzung verschieden großer Wassermengen				Mäßige Relativgefälle, Konzentrierung des Gefälles				Sehr günstige Relativgefälle, große absolute Gefälle			
									a) mittels Kanales		b) durch Aufstauen im Flusse selbst					
	Saale bei Dorndorf		Amper bei Dachau		Mangfall bei Darching		Mangfall bei Rosenheim		Kl. Rhein bei Straßburg		Isar bei Landshut		Sill bei Matrei		Wattensbach bei Wattens	
Gefälle	1,5 m		2 m		3 m		3,4 m		4,8 m		3,5 m		80 m		300 m	
Sekundl. Wassermenge	16 cbm		12 cbm		8 cbm		16 cbm		85 cbm		120 cbm		7,5 cbm		3 cbm	
Leistung	240 PS.		240 PS.		240 PS.		540 PS.		4000 PS.		4000 PS.		6000 PS.		9000 PS.	
	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.
1. Vorarbeiten, Wasserrechte, Grunderwerb, ausschl. der vorhandenen Bauten	24 000	100	18 000	75	16 000	67	30 000	55	80 000	20	60 000	15	30 000	5	80 000	9
2. Wehr- u. Kanalanlage einschl. Rechen, Schützen, Behälter, Druckleitungen, Wege u. Zufahrtstraßen u. einschl. d. vorhandenen Bauten	110 000	460	90 000	375	80 000	333	150 000	280	1 200 000	300	500 000	125	850 000	141	1 200 000	134
3. Turbinenanlage, Turbinenhaus mit Laufkran, Turbinen mit Regulatoren, Werkstatteinrichtung usw.	106 000	440	84 000	350	60 000	250	100 000	185	420 000	105	740 000	185	320 000	54	340 000	37
Gesamtbausumme	240 000	1000	192 000	800	156 000	650	280 000	520	1 700 000	425	1 300 000	325	1 200 000	200	1 620 000	180

1) Nach v. Miller, Z. d. V. deutsch. Ing. 1903 S. 1006.

Tabelle 13. Vergleichende Zusammenstellung über Baukosten von Wasser- und Dampfkraftanlagen an kanalisierten Flüssen.

Nach Prüsmannschen Angaben.

Ort	Leistung	Wasserkraftanlage (ohne elektrische Anlagen)	Wasserkraftanlage mit Dampfaushilfe		Dampfkraftanlage		Bemerkungen
			ohne elektr. Anlagen	mit elektr. Übertragung auf 20 km	ohne elektr. Anlagen	mit elektr. Übertragung auf 20 km	
	PS.	Baukosten für 1 eff. Pferdestärke in Mark					
Rintelen a. der Weser . .	1000	441	779	1965	461	1380	Wehrgefälle: 1,4 bis 2,4 m.
Frankfurt am Main. . .	2000	620	926	2162	461	1380	Wehrgefälle: 1,5 bis 2,5 m.
Krappitz a. der Oder. . .	1000	590	897	2122	461	1380	Wehrgefälle: 1,5 bis 2,2 m.
Valwig an der Mosel . .	2000	452	789	1979	461	1380	Wehrgefälle: 1,3 bis 2,3 m.

Bemerk. In den Kosten der Wasserkraftanlagen sind die für Schiffahrtszwecke (Stauwehre) ohnehin erforderlichen Aufwendungen nicht berücksichtigt. Geschieht dies, so erhöht sich der Preis für 1 PS. um etwa 100 bis 150 Mk. Trotz der höheren Anlagekosten für die Wasserkräfte ergeben sich nach der Prüsmannschen Berechnung selbst bei voller Dampfaushilfe die jährlichen Betriebskosten der Wasserkräfte sowohl bei Verwertung am Gewinnungsort wie bei Fernübertragung auf 20 km billiger als die der Dampfkraft (s. Abschn. IV C).

bemerkenswert, weil sie einen unmittelbaren Vergleich zwischen Wasser- und Dampfkraft gestattet. Denn die Kostenberechnung ist für diese drei Fälle nach denselben Grundsätzen erfolgt.

Tabelle 14 ist hergeleitet aus den tatsächlichen Baukosten einiger Wasserkraftanlagen und wird aus diesem Grunde Beachtung verdienen und den unmittelbaren Vergleich mit den Zahlen in Tabelle 15 ermöglichen, die für dampfbetriebene Elektrizitätswerke Geltung haben. Bei allen diesen Angaben wird man sich vergegenwärtigen müssen, daß die Preise aus den Gestehungskosten zum Teil kleiner Wasserkraftzentralen hergeleitet sind und darum auch nur den Einheitskosten aus gleich großen Wärmekraftwerken gegenübergestellt werden dürfen.

Tabelle 14. Ausführungskosten von Wasserkraftanlagen.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Gesamtbaukosten Mk.	Kosten für 1 PS. Mk.	Bemerkungen
Luzern	0,6 bis 1,2	288	440 000	1530	Einschl. eines Gewerbegebäudes von 3 Stockwerken und 770 qm Grundfläche. Vgl. Abschn. V, 2, A.
Schaffhausen . .	4,2 bis 4,8 bzw. 3,5 bis 4,5	2 700	1 460 000	540	Zwei getrennte Wasserkraftwerke im Rhein, einschl. Kraft- u. Lichtverteilungsnetz.
Kubel bei St. Gallen (Schweiz) .	90	5 000	4 296 000 (I. Ausbau)	860	Einschl. Sammelbecken von 1,5 Mill. cbm Stauinhalt, elektrischer Anlagen, Verteilungsnetz und Dampfaushilfe von 1000 PS.
			5 336 000 (mit Sitterzuleitung)	1060	
Gersthofen am Lech	10 bis 10,5	6 000	3 250 000	540	Ohne Grunderwerb und den elektrischen Teil, aber mit Turbinen und Kammerschleusen.
Augsburg . . .	—	9 100	7 500 000	824	
Heimbach (Urfttalsperre) . .	70 bis 110	16 500*)	8 500 000	520	Einschl. Sammelbecken von 45,5 Mill. cbm Stauinhalt und Verteilungsnetz auf 20 bis 30 km. *) Einschl. Reserve.
Rheinfelden . .	2,8 bis 4,9	16 800	4 900 000	290	Mit elektrischen Anlagen.
Chèvres (Rhone)	4,3 bis 8,1	9 600 bis 13 000	4 176 000	392	Der Preis bezieht sich auf die mittlere Leistung der Zentrale.
Kraftwerk d. Stadt Lyon (Jonage) .	10 bis 12	22 750	26 000 000	1150	Mit 18,6 km langem Betriebskanal, einschl. der maschinellen und elektrischen Anlagen.
Rheinwasserkraftwerk bei Mühlhausen (Projekt 1902)	7,3 bis 9,2	23 000	12 300 000	530	Einschl. Grunderwerb u. Turbinen, aber ohne die elektr. Anlagen.
Chèdde (s. S. 40)	139	10 000	—	120	An der Turbinenwelle.
				170	Einschl. elektr. Einrichtung.
Champ (s. S. 45)	37,4	5 300	3 600 000	436	An der Turbinenwelle.
				950	Einschl. elektr. Anlagen.

Tabelle 15. Anlagekosten

von deutschen mit Dampf betriebenen städtischen Elektrizitätswerken, zusammengestellt nach Ermittelungen von Hoppe auf Grund der Statistik der Elektrizitätswerke 1905 [1]).

Leistung des Werkes in KW.	Anlagekosten für 1 KW.		Anlagekosten für 1 PS.		Bemerkungen
	mit Leitungs- und Verteilungs-netz Mk.	ohne Leitungs- und Verteilungs-netz Mk.	mit Leitungs- und Verteilungs-netz Mk.	ohne Leitungs- und Verteilungs-netz Mk.	
über 5000	1380	780	1016	574	In den Anlagekosten sind enthalten die Kosten der Grundstücke und Gebäude und Schornsteine und der Maschinen und alle innere Einrichtung des Kraftgebäudes, bzw. das Übertragungs- und Leitungsnetz, Akkumulatoren, Transformatoren, Zähler und Hausanschlüsse. 1 PS. = 0,736 KW.
2000 bis 5000	1460	749	1089	551	
1000 bis 2000	1360	691	1000	509	
500 bis 1000	1460	869	1089	640	
250 bis 500	1570	857	1155	631	
100 bis 250	1770	987	1303	726	
unter 100	2440	1300	1796	957	

Die Anlagekosten schweizerischer Wasserkräfte schwanken nach den Angaben von Prof. Zschokke zwischen 200 und 700 Mk., wobei nicht die absolut geringste Zahl der gewonnenen Pferdekräfte in Ansatz gebracht wird, sondern die Kraft, welche bis auf etwa 10 Tage im Jahre stets gewonnen werden kann. Der Mittelpreis liegt zwischen 400 und 500 Mk. an der Turbinenwelle, gilt also ohne die elektrischen Anlagen. Unter Berücksichtigung der Kosten der elektrischen Einrichtung im Zentralwerk und der Kraftverluste, die bei der Umsetzung der Wasserkraft in die elektrische Energie entstehen, stellt sich der Preis der elektrischen PS. im Kraftwerk auf etwa 600 Mk. Als Grenze für die Wirtschaftlichkeit von Wasserkraftanlagen gilt in Baden der Preis von etwa 600 Mk. für 1 PS., in der Nordschweiz 640 Mk. und in Frankreich 800 Mk. für 1 PS.

1) Finanzielle Ergebnisse städtischer Elektrizitätswerke. E. T. Z. 1905 S. 673.

B. Der Ertrag der Wasserkraftunternehmungen. Tarife und Betriebsergebnisse.

In den Ertragsberechnungen von Wasserkraftanlagen müssen die folgenden Faktoren zahlenmäßig in die Erscheinung treten:

I. Die Betriebsausgaben. Als solche sind in Ansatz zu bringen:
   1. Die Zinsen der Anlagekosten.
   2. Die Kosten der Tilgung.
   3. Der Betrag für Erneuerung der Bauwerke und Maschinen (Abschreibung).
   4. Die unmittelbaren Betriebskosten (Unterhaltung, Löhne, Schmierstoffe).
   5. Die entsprechenden Kosten zu 1 bis 4 für eine etwaige Dampfaushilfe.
   6. Dauernde Lasten: Entschädigung für Wasserentziehung.
   7. Die Gebühren, Steuern oder sonstige allgemeine oder öffentliche Abgaben.
   8. Wasserschäden und Unfälle als außergewöhnliche Belastungen.

II. Die verfügbare Kraft, und zwar:
   1. Die Rohkraft aus Wassermenge und Gefälle.
   2. Die mittlere und die geringste Kraftleistung.
   3. Die Verluste in den Maschinen und in der Übertragung.
   4. Die nutzbar abgegebene Kraft nach PS. oder KW. als Leistung des Werkes unter Berücksichtigung der jährlichen Betriebsstunden oder nach Jahres-PS. oder KW.-Stunden.

III. Die Selbstkosten. Diese sind:
   1. Die reinen Selbstkosten auf Grund der Ergebnisse aus den Feststellungen nach I und II, bezogen auf die Nutzeinheit, z. B. Jahrespferdekraft, Pferdekraft- oder Kilowattstunde.
   2. Die Selbstkosten bei etwaiger Zuhilfenahme eines Wärmekraftwerkes.
   3. Zum Vergleich die Kosten einer reinen Wärmekraftanlage unter gleichen äußeren Verhältnissen.

IV. Die Einnahmen als das Produkt der Leistung des Werkes und des erzielbaren Marktpreises für die Krafteinheit und zwar:
   1. Bei Abgabe am Ort der Kraftgewinnung.
   2. » » nach Fernübertragung.

V. Der Reingewinn als Unterschied der Einnahmen und Ausgaben.

Zu der vorstehenden Aufstellung mögen einige Erläuterungen dienen.

In den Ertragsberechnungen unterscheidet man im allgemeinen zwischen mittelbaren (unveränderlichen) und unmittelbaren (veränderlichen) Betriebskosten. Zu jenen zählen die Zinsen, die Tilgung des Anlagekapitals und im gegebenen Falle die Erneuerungsrücklage sowie sonstige feststehende Ausgaben (Steuern, Gebühren u. a. m.). Zu den unmittelbaren Betriebskosten rechnet man den Aufwand für die bauliche Unterhaltung der Anlage, Gehälter und Löhne, Putz- und Schmierstoffe und Kohle bei den Dampfanlagen (Gas, Benzin usw.).

Hinsichtlich der Verzinsung des Anlagekapitals einschließlich der Grunderwerbskosten muß man sich vergegenwärtigen, daß diese nicht erst anhebt in dem Augenblick, in dem das Werk betriebsfähig fertiggestellt ist, sondern daß die Verzinsung mit dem Beginne des Baues einzusetzen hat, so daß die Summe dieser Zinsen mit dem vorwärtsschreitenden Bau anwächst. Da in dieser Zeit Betriebseinnahmen, aus denen jener Betrag gedeckt werden kann, noch nicht vorhanden sind, so wird man die Zinsen des Baukapitals als einen Teil der gesamten Herstellungskosten ansehen und zu diesen hinzurechnen müssen. Unter denselben Gesichtspunkt fallen auch die Kosten, die vor und während der Bauzeit durch die Entwurfsaufstellung, Bauleitung, Aufsicht und die sachliche Bureauunterhaltung entstehen.

Der Begriff der Tilgung ist der, daß jährlich eine Geldsumme, die in ihrer Höhe von der voraussichtlichen, eingeschätzten Dauer des Werkes abhängt, abgetragen wird, gleichsam als Rückzahlung des aufgewendeten Baukapitals. Dieser Tilgungsbetrag ist demnach so zu bemessen, daß mit dem Aufbrauch der Anlage, d. i. der Aufzehrung ihres wirtschaftlichen Wertes, die Rückzahlung beendet ist.

Bei Privatunternehmungen wird bisweilen neben der Tilgung noch ein Erneuerungsfonds (Abschreibung) gebildet mit der Maßgabe, daß die Summe aus dem jeweilig vorhandenen Wert der Anlage und dem aufgesammelten Erneuerungsbetrage in jedem Augenblick dem Neuwert entspricht. Aus dieser Rücklage soll nach Aufbrauch des Werkes der Neubau oder nach Verschleiß einzelner Teile (Maschinen, Leitungsnetz) die Ergänzung erfolgen können. Durch diesen Erneuerungs- und den Tilgungsbetrag wird das Werk zwar doppelt belastet, das Unternehmen steht dann aber sehr selbständig da. Der Wert der Anlage bleibt ständig unverändert. Wenn lediglich die Tilgung erfolgt, so wird dies für

ein junges Unternehmen an sich vorteilhafter sein, da die ersten Betriebsjahre ohnehin größere Schwierigkeiten zu überwinden haben und darum jede mögliche Entlastung erwünscht sein wird. Es ist oft der Fall, daß bei einem im Grunde durchaus gesunden Unternehmen anfänglich die Einnahmen nicht die Ausgaben decken und daß man genötigt sein wird, einen Teil von den letzteren auf die Herstellungskosten zu schlagen.

Staatliche und städtische Anlagen pflegen solche Aufsparungen für Erneuerungs- und Erweiterungsbauten nicht vorzunehmen. Für private Unternehmungen aber wird zur Wahrung eines gesicherten Betriebes die Ansammlung einer Rücklage in gewisser, von den jeweiligen Umständen abhängigen Höhe nicht zu umgehen sein. Auch gut arbeitende Anlagen können leicht von ihrer Höhe herabsinken, wenn ihre Einrichtungen durch neue Erfindungen veralten und an Wirtschaftlichkeit hinter Maschinen anderer Werke zurückstehen. Da werden oft neue Ausrüstungen erfolgen müssen, ehe noch die vorhandenen Betriebsanlagen aufgebraucht und getilgt sind. Erfahrungen erweisen dies.

Der Frage der Entschädigung für Wasserentziehung ist schon im vorigen Abschnitt IV A gedacht worden. Die Ausgaben dafür fallen unter die Anlagekosten, sofern eine einmalige Abfindung erfolgt. Geschieht dies nicht, so werden sie dauernd bei dem laufenden Betriebsaufwande in die Erscheinung treten, ebenso wie die Abgaben für Wasserzins (Anerkennungsgebühr), Steuern, Versicherungsbeiträge aller Art, Einzahlungen für Pensionskassen, Wohlfahrtseinrichtungen u. a. m. Die Höhe dieser Beiträge hängt zum wesentlichen ab von dem Gedeihen des Unternehmens und ist daher mehr Sache seiner späteren Entwicklung, als daß dies Gegenstand der Berücksichtigung bei Ertragsberechnungen für Neuanlagen zu sein pflegt. Auch die durch Wasserschäden und Unfälle entstehenden Unkosten lassen sich schwer voraussehen, sie sind durch den mehr oder minder gefahrvollen Charakter der wasserbaulichen Anlagen und des Betriebes bedingt. Immerhin wird es auch hier erwünscht sein, in guten Zeiten für solche unvermutete Vorkommnisse Bestände zu schaffen, um das Werk vor wirtschaftlichen Erschütterungen zu bewahren.

Die notwendigen Zahlenunterlagen für die Aufrechnungen zu II werden dem Entwurfe entnommen werden können, unter Berücksichtigung der in anderen Abschnitten dieser Abhandlung gegebenen Gesichtspunkte. Für die Berechnung der Betriebsausgaben werden die Sätze

der nachstehenden Tabelle 16 benutzt werden können. Aus den Ergebnissen der Ermittlungen nach I (Betriebsausgaben) und II (Zahl der jährlich erzeugten Pferdekraftstunden) folgen dann ohne weiteres durch Division die Selbstkosten. Allerdings ist, ebenso wie bei der Schätzung der Preise für die abgegebene Kraft die Art des Betriebes — wie hier mehrfach erörtert ist — von Bedeutung. Dabei wird man sich vergegenwärtigen müssen, daß man in den Ertragsberechnungen

Tabelle 16. Gesamte Betriebskosten von Wasserkraftanlagen in Hundertsteln der Anlagekosten.

Zinsfuß: 3,5 v. H.

Bauwerk	Unterhaltung, Verzinsung, Tilgung, Verwaltung bzw. Bedienung v. H.	Unterhaltung, Bedienung und Betrieb v. H.	Tilgung v. H.	Bemerkungen
Große Talsperren ohne Kraftwerk	$4^1/_4$	$^1/_4$	$^1/_2$ (Höchstwert)	Bei Dampf-Elektrizitätswerken rechnet man für Verzinsung und Tilgung 6 bis 8 v. H. des gesamten Anlagekapitals (Gebäude, Maschinen u. Leitungsnetz nebst Ausrüstung); für die unmittelbaren Betriebskosten 6 bis 7 v. H.
Große Talsperren mit Kraftwerk				
ohne elektr. Übertragung	5	$^1/_2$ bis $^3/_4$	1	
mit » »	10	2	4	
Kleinere Talsperren, Wehre, Betriebskanäle, Stollen und ähnliche Werke der Wasserfassung	6—7	$1^1/_2$	1—2	
Maschinen, elektrische Anlagen; Leitungsnetze				
große Anlagen	10	2	5	
mittlere »	12—15	4—5	5—7	
Kraftgebäude	$6^1/_2$—8	1	2	
Druckrohrleitungen und ähnliche Leitungen in der Erde	5—6	$^1/_2$	1—2	
Wasserkraftanlagen mittlerer Größe, ohne elektr. Übertragung	10—11	3	3—4	

Vorsicht obwalten lassen muß. Man darf nicht wohl die ganze aus einer Wasserkraft gewinnbare Energie als nutzbar und verkäuflich in Ansatz bringen. Ein Teil der Kraft geht im Eigenbetriebe des Werkes für Beleuchtung und Werkstättenbetrieb auf. Aber auch der Rest wird erfahrungsmäßig nach den im Kraft- und Lichtbedarf öffentlicher Werke auftretenden Schwankungen nicht voll ausgenutzt. Am vorteilhaftesten

kann man sich diesem wechselnden Verbrauch bei einer Talsperrenkraftanlage anpassen, wo der Stauweiher als Akkumulator dient. Man wird im allgemeinen nur mit Dreiviertel der vorhandenen Kraft als wirklich nutzbar in der Abgabe rechnen dürfen.

Zum Vergleich für die ermittelten unmittelbaren Betriebskosten kann die nachstehende Tabelle 17 dienen, die die Eigenkosten in Form der unmittelbaren Betriebskosten angibt, die Hoppe auf Grund der Statistik der deutschen dampfbetriebenen Elektrizitätswerke aufgestellt hat[1]), sowie die Tabelle 18 über die gesamten Selbstkosten in einigen städtischen Zentralen.

Tabelle 17. Unmittelbare Betriebskosten für 1 Kilowattstunde in deutschen dampfbetriebenen Elektrizitätswerken.

Leistungsfähigkeit der Werke in K.W.	Unmittelbare Betriebskosten[2]) für 1 nutzbar abgegebene Kilowattstunde Mk.	Bemerkungen
über 5000	0,10	Unter unmittelbare Betriebskosten sind verstanden die Kosten für Brenn-, Schmier-, Packstoff u. Dichtung, Gehälter und Löhne, Unterhaltung und sonstige Betriebsunkosten. Nicht darin enthalten sind die Verzinsung, Tilgung und Abschreibung des Baukapitals.
2000 bis 5000	0,12	
1000 bis 2000	0,13	
500 bis 1000	0,14	
250 bis 500	0,15	
100 bis 250	0,16	
unter 100	0,20	

Der Unterschied zwischen den jährlichen Betriebskosten eines Wasserkraftwerkes und einer Wärmekraftanlage von gleicher Stärke wird den Nutzen der Wasserkraft erkennen lassen. Wenn dieser Unterschied kapitalisiert wird, so drückt sich in dieser Summe der Mehrwert der Wasserkraft in Geldeswert aus d. h. die wirtschaftliche Ersparnis gegenüber der gleichen Arbeitsleistung einer Wärmemaschine.

Der erzielbare Preis der Kraft hängt enge mit der gesamten wirtschaftlichen Lage des Bezirkes zusammen und wird der Marktlage angepaßt werden müssen. Dabei muß man berücksichtigen, daß die Wasserkraftausnutzung sich heute das Feld erobern muß und meist auf einen nicht leicht überwindbaren Wettbewerb mit schon vorhandenen

1) E. T. Z. 1905.

2) Auf Brennmaterial (Kohlen) entfallen davon 50 bis 70 v. H.

öffentlichen Elektrizitätswerken stößt. Aber auch das Mißtrauen, das noch vielfach gegen die Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit der Wasserkräfte vorhanden ist, muß überwunden werden. Diese Umstände nötigen oft zu einer niedrigen Preisgestaltung, um Eingang zu finden und festen Fuß zu fassen und den vollen Erfolg für die Zukunft zu erhoffen. Es sei bemerkt, daß nach den Ermittlungen Hoppes die mittlere Einnahme aus Licht und Kraftstrom bei deutschen öffentlichen Elektrizitätswerken 31 bis 32 Pf. für 1 Kilowattstunde beträgt.

Tabelle 18. Selbstkosten des elektrischen Stromes in städtischen Zentralen[1]).

	Leistungsfähigkeit des Werkes KW.	Selbstkosten: unmittelbare Betriebskosten[2]) Pf./KW.-St.	Selbstkosten: insgesamt[3]) Pf./KW.-St.
Hamburg . . .	3000	6,6	9,6
Breslau	1700	17,3	33,0
	1700	7,54	18,04 (1903/04)
	7900	7,31	17,25 (1904/05)
Düsseldorf . . .	1000	14,4	36,0
Traben-Trarbach	62	16,9	27,0
Köln	4000	—	9,7 bis 23,2 (1892 bis 1902)
Charlottenburg .	3400	—	10,0 (1901)
			6,0 bis 7,0 (nach Anschluß der Bahnhöfe)

Zur Beurteilung der Frage des Reingewinns ist zu erwähnen, daß man bei dampfbetriebenen Elektrizitätswerken einen Bruttoüberschuß von 10 v. H. des gesamten Anlagekapitals zur Deckung der Verzinsung, Tilgung und Abschreibung für notwendig hält, falls das Betriebsergebnis als ein günstiges bezeichnet werden soll[4]).

1) Zum Teil nach Schmidt, Elektrotechnik.
2) Kohlen, Schmiermaterial, Gehälter, Löhne und Unterhaltung.
3) Annahme von 4 v. H. zur Verzinsung und Tilgung des Kapitals.
4) Journal f. Gasbel. u. Wasservers. 1906 S. 48.

Tarife und Betriebsergebnisse.

Es werden an dieser Stelle einige Mitteilungen über Tarife und Betriebsergebnisse von neueren Wasserkraft- und Talsperrenunternehmungen nicht ohne Interesse sein.

Von dem Talsperren-Wasserkraftwerk der Stadt Solingen wird der elektrische Strom für Lichtzwecke zu dem Grundpreise von 45 Pf. für eine Kilowattstunde bis zu einer Benutzungsdauer von 350 Stunden im Jahr abgegeben. Der ganze über 350 Stunden hinausgehende Verbrauch wird mit 25 Pf. für eine Kilowattstunde vergütet. Der Grundpreis für Kraftstrom beträgt 18 Pf./KW.-St. bis zu einer Benutzungsdauer von 750 Stunden im Jahr. Der über 750 Stunden hinausgehende Verbrauch wird mit 8 Pf. für 1 KW.-St. bezahlt. Das Werk hat eine Leistungsfähigkeit von 450 KW. Im Frühjahr 1904 — ein Jahr nach der Betriebseröffnung — waren 140 Motoren mit einem Anschlußwert von 209 KW. angeschlossen und die gesamte Beleuchtung für Bogen- und Glühlicht hatte einen Anschlußgleichwert von rund 6550 Glühlampen zu je 16 Normalkerzen. Die im Durchschnitt täglich an den Sammelschienen erzeugte Energie betrug im ersten Betriebsjahre 738, die größte tägliche Erzeugung 1785 Kilowattstunden. Die Stromlieferung erfolgt jederzeit, Tag und Nacht. Die elektrische Energie dient städtischen Zwecken wie den gewerblichen oder geschäftlichen Anlagen der regen Kleineisen- und Waffenindustrie der Stadt Solingen und gibt ein Bild von der segensreichen Ausnutzung, welche aus einer geordneten Wasserwirtschaft im Gebirge gewonnen werden kann.

Während im Jahre 1904 die Stromabgabe für Licht- und Kraftzwecke noch 278 800 KW.-Stunden betrug, ist sie 1905 auf 388 800 KW.-Stunden, also in einem Jahre um rd. 40 v. H. gestiegen. Die günstige Entwicklung des Werkes tritt besonders nach der Seite des Kraftbedarfs hervor, und im Frühjahr 1906 waren mehr als 500 Kleinmotore angeschlossen.

Eine Übersicht über die wasserwirtschaftlichen Ergebnisse des Staubeckens seit seiner Inbetriebnahme im Jahre 1903 gibt die Tabelle 19.

Über den Tarif und die Wirtschaftlichkeit der Elektrizitätswerke in Gersthofen äußert sich Prof. Epstein in dem Bayr. Industrie- und Gewerbeblatt 1904. Die Ausführungen haben zum Teil allgemeine Bedeutung und mögen daher auszugsweise hier Platz finden. Es läßt sich

Tabelle 19. Wasserwirtschaftliche Ergebnisse der Solinger Talsperrenanlage seit Inbetriebnahme des Staubeckens Ende März 1903 bis zum 1. April 1906[1]).

Größe des Niederschlagsgebietes 11,8 qkm
Inhalt des Hauptstaubeckens . . 3,15 Mill. cbm.
» » Vorbeckens . . . . 0,1 » »

Abflußjahr vom 1. April bis 31. März	Jahres-niederschlag	Zuflußmenge zum Staubecken in 24 Stunden. Während des Jahres größte	kleinste	Inhalt des Staubeckens am 1. April des Betriebsjahres	Niederschlagsmengen während des Betriebsjahres	Wasserzufluß zum Staubecken während des Betriebsjahres	Wasserzufluß zum Staubecken in Hundertsteln des Niederschlags	Wasserabfluß aus dem Staubecken: Trinkwasserabgabe an die Stadt Solingen	Kraftwasserabgabe für den Turbinenbetrieb: für Wasserhebung	zur Erzeugung elektrischer Energie	Durch den Leerlaufstollen	Über den Überlauf abgeflossen	Sickerwasser in den beiden Stollen der Sperrmauer	Verluste und verdunstete Wassermenge
	mm	cbm	cbm	Mill. cbm	Mill. cbm	Mill. cbm		Mill. cbm	Mill. cbm	Mill. cbm	Mill. cbm	Mill. cbm	cbm	cbm
1903/04	1111	173 000 (Novemb.)	2000 (Mai-Juni)	0,10	13,331	9,592	71,9	1,300	1,040		0,100	3,500	9630	180 000[2])
1904/05	856	187 000 (Januar)	400 (Septbr.)	3,0	10,272	5,685	55,3	1,171	1,298	1,378	—	1,500	4500	204 000
1905/06	1201	130 000 (März)	2300 (Juli)	3,150	14,407	11,090	76,9	1,226	0,811	1,931	—	6,534	3000	586 000
1906/07	—	—	—	3,150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Bemerk. In dem außergewöhnlich trocknen Sommer des Jahres 1904 betrug in den sechs Sommermonaten Mai bis Oktober die gesamte Niederschlagshöhe 313 mm, die Niederschlagsmenge 3,761 Mill. cbm, der Zufluß zum Becken 0,342 Mill. cbm, d. i. 9,1 v. H. des Niederschlags. Dieses Zuflußverhältnis ging in den trockensten Monaten Juli bis September auf 2,0 3,0 bzw. 4,4 v. H. herunter.

1) Zusammengestellt nach freundlichst überlassenen Aufzeichnungen der Direktion der städt. Wasser- u. Elektrizitätswerke in Solingen.
2) Außerdem werden zur Speisung der unteren Rieselwiesen 561 000 cbm abgegeben.

nicht schlechthin davon sprechen, bemerkt er, welche Gestehungskosten ein derartiges Werk für die Kilowattstunde aufzubringen hat, denn diese Gestehungskosten hängen von der Ausnutzung ab. Wenn es wirtschaftlich vorteilhaft ist, den Verkaufspreis in Beziehung zu den eignen Gestehungskosten zu setzen, so ergibt sich, daß es nicht angeht, den Verkaufspreis einheitlich festzusetzen, sondern man wird damit rechnen, wie viel dem Werk die Erzeugung der elektrischen Energie für den betreffenden Verbraucher kostet. Hierdurch wird man auf der einen Seite einen erzieherischen Einfluß auf die Verbraucher ausüben, auf der anderen Seite das Werk in den Stand setzen, grade für diejenigen Verbraucher zu arbeiten, für welche die Arbeitsleistung des Werkes eine volkswirtschaftlich wichtige ist.

Es besteht zunächst ein verschiedener Tarif für Licht und Kraftverbrauch, und zwar beträgt der Grundpreis für die Kilowattstunde für Licht 60 Pf., für Kraft 20 Pf. Um den Lichtverbrauchern bei längerer täglicher Brennzeit den Vorteil des gleichmäßigeren Bedarfs, auf dem der billigere Kraftpreis beruht, zu teil werden zu lassen, bestimmt der Tarif, daß bei mehr als 375 Betriebsstunden der Lichtverbraucher auch nur den Kraftpreis von 20 Pf. bezahlt. Statt eines solchen Tarifs, bei dem der wirkliche Verbrauch mittels Zähler ermittelt wird, haben sich bei kleinen Abnehmern, wie sie in ländlichen Bezirken vorkommen, Pauschaltarife gut bewährt. Wenn in irgendeiner Anlage ein solcher gerechtfertigt ist, so ist es, wie Epstein hervorhebt, bei der Wasserkraft der Fall, weil ja hier die Erzeugungskosten nicht in dem Maße verhältnismäßig wachsen als z. B. bei Dampfmaschinenbetrieb. Das Gersthofener Werk hat darum in ausgedehntem Maße Pauschaltarife eingeführt. Es werden für eine 16kerzige Lampe in Privatwohnungen 18 Mk., in Gasthäusern mit stärkerer Benutzung 24 Mk. bezahlt. Kleingewerbetreibende, bei denen auf eine tägliche Benutzungsdauer von 11 Stunden zu rechnen ist, zahlen je nach der Größe des Motors für die Pferdekraft jährlich 230 bis 300 Mk. Bei 24 Stunden Benutzungsdauer erhöht sich der Pauschalsatz nur um 40 v. H., weil auch für das Werk nicht eine Verdoppelung infolge der längeren Betriebszeit eintritt. Die Anlage ist seit einigen Jahren im Betriebe. Von der Leistungsfähigkeit von 6000 PS. nehmen die Höchster Farbwerke 3000 PS. Tag und Nacht ab. Der Lichtbedarf war bei den übrigen Kleinabnehmern gleich bei der Eröffnung des Werkes ein reger. Für den Kraftverbrauch lagen von vornherein wenig Anmeldungen vor,

weil man der neuen Betriebsart mit Mißtrauen entgensah und zunächst eine abwartende Stellung einnahm. Später aber ergab sich ein stetig fortschreitender Kraftbedarf.

Die durchschnittliche Leistung der Motoren beträgt 4 PS. Die Abnehmer gehören meist den Kreisen des Handwerkerstandes und des kleinen Gewerbes an und darin beruht die volkswirtschaftliche Bedeutung dieses Unternehmens. Man glaubt grade in der lebhaften Anschlußbewegung der Kleinabnehmer die Rechtfertigung zu erblicken für die Gesichtspunkte, nach denen bei der Ausgestaltung des Werkes vorgegangen wurde[1]).

Das Elektrizitätswerk Untertürkheim am Neckar besitzt eine Wasserkraft von 720 PS. und ist mit einem Gesamtaufwand von 950000 Mk. errichtet, worin eine Dampfaushilfsanlage mit einbegriffen ist. Für Abgabe elektrischer Energie zu Lichtzwecken ist ein Grundpreis von 45 Pf. für 1 Kilowattstunde angesetzt. Als Mindestbetrag werden 2 Mk. jährlich für jede angeschlossene Glühlampe und 20 Mk. für jede Bogenlampe erhoben. Für den zu Kraftzwecken abgegebenen Strom kostet die KW.-Stunde 15 Pf. Der Mindestbetrag für Jahr und angeschlossene Pferdekraft beträgt 25 Mk. Bei Motoren, die zum Antriebe landwirtschaftlicher Maschinen dienen, wird der Betrag für Jahr und Pferdekraft auf 10 Mk. ermäßigt. Die Kraftabgabe bezifferte sich bei Eröffnung des Betriebes (1902) auf 420 PS. Die Abnahme der gesamten Stromerzeugung ist gesichert[2]).

Die Kosten der Ennepetalsperre (10 Mill. cbm Stauinhalt) mit Wasserwerk und Elektrizitätswerk betragen nach der Ausführung 3 Mill. Mark. Die Verzinsung der Baugelder erfolgt mit $3^3/_4$ und 4 v. H. Die Anleihen werden mit $^1/_2$ v. H. getilgt. Für die Bedienung und Unterhaltung der Anlage sind $^1/_5$ v. H. in Ansatz gebracht. Die hierdurch entstehenden jährlichen Betriebsausgaben von 136000 Mk. werden vom Ruhrtalsperrenverein (100000 Mk.), von der Ennepetalsperrengenossenschaft (12000 Mk.) und dem Kreise Schwelm (24000 Mk.) getragen. Die Anlage dient neben der zentralen Wasserversorgung im Kreise Schwelm und der Kraftgewinnung im Kraftwerke unterhalb der Talsperre der Ab-

1) Eingehende Erörterungen über leitende Gesichtspunkte für die Tarifbildung und Gewinnverteilung bei Wasserkraft-Elektrizitätswerken s. Beiträge zur Hydrographie des Großh. Baden, Zwölftes Heft 1906 S. 59 ff.

2) Müller, Wehranlage und Elektrizitätswerk Untertürkheim.

gabe von Betriebswasser an die Triebwerke im Ennepetale und zum Ersatz des von den Wasserwerken an der unteren Ruhr fortgepumpten Wassers.

Der Preis der elektrischen Energie ist auf 20 Pf. für die Kilowattstunde für Kraft- und 35 Pf. für Lichtzwecke bei Gewährung angemessener Rabattsätze für Kraftzwecke festgesetzt worden. Diese Sätze stehen wesentlich unter denjenigen der in der Nähe liegenden Großstädte. Die Anlage ist im Jahre 1905 in Betrieb genommen; es können jährlich rund 1,9 Mill. Pferdekraftstunden abgegeben werden.

Nach dem Statut der Ennepetalsperregenossenschaft wird das Verhältnis, in welchem die einzelnen Genossen zu den Genossenschaftslasten beizutragen haben, in der Weise bestimmt, daß für jede durch das Talsperrenwasser bei der vorhandenen Einrichtung der Motoren zu gewinnende Nutzpferdekraft ein Satz von 30 Mk. im Jahr für den Tagesbetrieb gezahlt und außerdem ein jährlicher Pauschalzuschlag geleistet wird, der sich nach der Größe der vorhandenen Motoren richtet und beträgt für:

0 bis 5 PS.	30 Mk.
5 » 10 »	40 »
10 » 15 »	50 »
15 » 20 »	60 »
20 » 30 »	80 »
30 » 50 »	100 »
über 50 »	120 »

Über die wirtschaftliche Bedeutung des Sammelbeckens für die Kraftgewinnung in den Triebwerken wird berichtet[1]): Durch die dauernd und gleichmäßig aus dem Sammelbecken abzulassenden großen Wassermengen werden dieselben nicht nur in der Lage sein, die vorhandenen Motore besser und ausgiebiger auszunutzen, sondern es wird ihnen auch die Möglichkeit gegeben, ihre Motore zu vergrößern und ungenutzte Gefälle auszubauen. Die Genossenschaft umfaßt 46 Stauanlagen mit 81 Einzeltriebwerken, die vor Erbauung der Talsperre etwa 291 PS. leisteten. Die aus der vermehrten Wasserführung des Triebbaches zu erzielende Nutzleistung wird zu 900 bis 1000 PS. angegeben. Neben der finanziellen Wirkung der Kraftzentrale an der Talsperre, dem Kreise Schwelm für die übernommene Last von 24000 Mk. Einnahmen zu ver-

1) Harz, Die Ennepetalsperre.

schaffen, besteht die volkswirtschaftliche Bedeutung in einer guten Lichtversorgung und in der Abgabe billiger elektrischer Kraft an die Kleingewerbetreibenden, besonders soweit dabei die als Hausgewerbetreibenden der Textilindustrie beschäftigten Bandwirker in Betracht kommen. Hier liegt die Gefahr vor, daß durch die Großbetriebe diese selbständigen Hausgewerbetreibenden allmählich zu Lohnarbeitern heruntersinken. Dieser Gefahr wird durch die Gewährung billiger elektrischer Kraft vorgebeugt, zumal geplant ist, in geeigneten Fällen die Anlagekosten der Motoren vom Kreise vorzulegen und ratenweise zurückzufordern. Die Rentabilität des Elektrizitätswerkes erscheint schon bei einer Abgabe von nur 450000 KW.-Stunden im Jahre gesichert (zur Verfügung stehen 1380000 KW.-St.).

Die Ruhrtalsperrengesellschaft, G. m. b. H., Kraftwerk Heimbach i. d. Eifel, hat vier Abnehmer:

1. Die Stadt Aachen,
2. Den Landkreis Aachen,
3. Den Landkreis Düren,
4. Den Landkreis Schleiden,

welche, ebenso wie die nichtbezugsberechtigten Kreise, Gesellschafter sind. Die drei erstgenannten Abnehmer erhalten den Strom zu 4,1, der vierte zu 3,7 Pf. für die Kilowattstunde und weiterhin noch eine Ermäßigung bis zu 10 v. H., wenn die Dividende der Gesellschaft 5 v. H. übersteigt. Dafür ist ihnen aber die Verpflichtung auferlegt, die jeweils garantierte Jahresmenge, die zwischen 2,3 und 8,5 Mill. KW.-Stunden liegt, unter allen Umständen zu bezahlen, also auch dann, wenn sie nicht verbraucht werden kann.

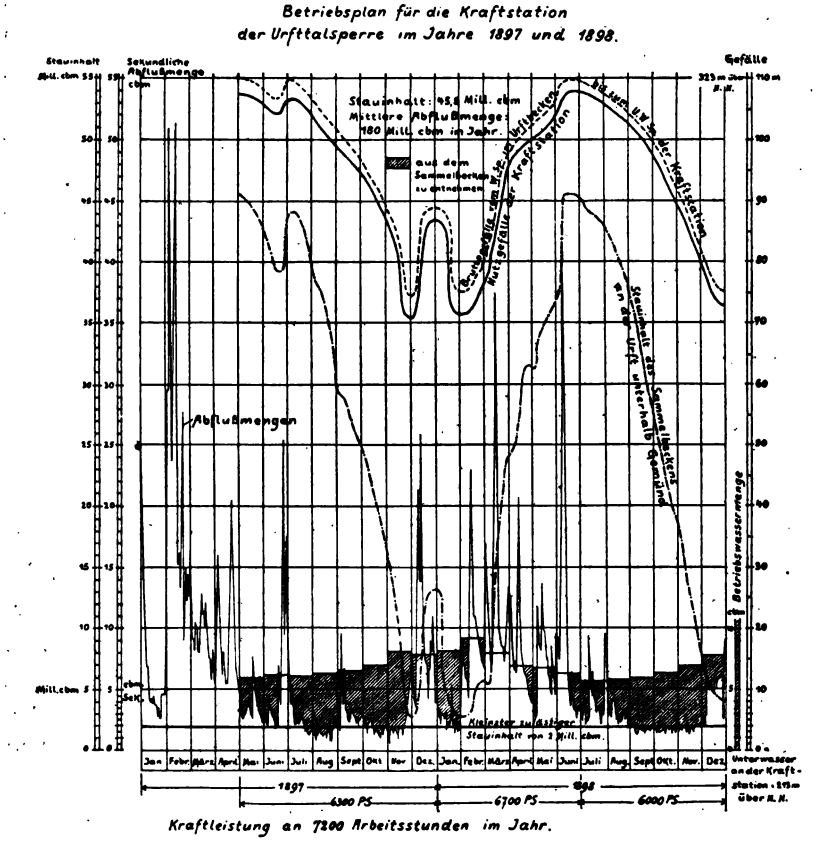
Die Kreise sind im Weitervertrieb der elektrischen Energie ganz selbständig, haben sich aber im großen und ganzen an einen von der Verwaltung der Gesellschaft ausgearbeiteten Tarif gehalten, nach welchem der Strom für Beleuchtungszwecke mit Berücksichtigung der Rabatte sich auf 25 bis 40 Pf. für die KW.-Stunde stellt.

Der Strom zu Kraftzwecken wird:

a) bei Niederspannung zu 8 bis 35 Pf.

b) bei Hochspannung (5000 Volt) zu 4 $^1/_2$ bis 25 Pf. verkauft; in beiden Fällen hat die jährliche Gesamtleistung und die Art der Entnahme den größten Einfluß auf den Preis. Es ist eine Prämie auf möglichst gleichmäßigen Verbrauch gesetzt, ein Umstand, der für den Betrieb des Kraft-

werkes sehr ins Gewicht fällt. So z. B. zahlt ein Verbraucher, der 10 PS. während 24 Stunden braucht, erheblich weniger, als ein anderer, der 24 PS. während 10 Stunden betreibt[1]).



Entwurf von Intze.

Abb. 58. Darstellung der sekundlichen Abflußmengen der Urft, der Schwankungen des Stauinhaltes im Sammelbecken und des Brutto- und Nutzgefälles, der Betriebswasserentnahme und der aus diesen Faktoren sich ergebenden Nutzleistung im Kraftwerk bei Heimbach a. d. Rur für die Jahre 1897 und 1898 (6000 bis 6700 PS. an 7200 Arbeitsstunden).

Einen Anhalt für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Werkes gibt der in Abb. 58 dargestellte Betriebsplan.

1) Stauweiher im Harze. Versammlungsbericht. Braunschweig. Genauen Tarif s. Zeitschr. Wasserwirtschaft und Wasserrecht 1906 S. 216.

Die Stauweiher in den Vogesen sind zum Zwecke der Aufhöhung des Niedrigwassers in den Triebbächen und zur Landbewässerung errichtet. Durch den Ahlfeldweiher von 1,1 Mill. cbm Stauinhalt können in 41 Triebwerken bei 100 m Gesamtgefälle jährlich etwa 800000 PS.-Stunden nutzbar gemacht werden. Selbst wenn hiervon nur die Hälfte verwertet wird, so berechnet sich aus dem entsprechenden Ersparnis an Kohlen der Gewinn in Geldwert zu 22400 Mk. Einschließlich der Benutzung des Wassers in dem am Bache angesiedelten Baumwollengewerbe läßt sich der verwertbare Gewinn auf 40000 Mk. im Jahre schätzen. Der Gewinn, der sich für die Landwirtschaft aus der Ausnutzung des Stauweihers ziehen läßt, kann jährlich zu 50000 Mk. angenommen werden. Die Anlagekosten des Weihers betragen 440000 Mk. Wenn der Gesamtgewinn nur mit 75000 Mk. in Ansatz gebracht wird, so beläuft sich die Verzinsung des Anlagekapitels auf 17 v. H.[1])

Bei den Stauweihern im Fechttale (Vogesen), die den gleichen Zwecken dienen, berechnet sich die Rentabilität zu etwa 11 v. H.

Die Wuppertalsperren-Genossenschaft hat im Quellgebiet der Wupper (Rhein) an der Bever und Lingese zwei Sammelbecken von 3,3 und 2,6 Mill. cbm Rauminhalt errichtet. Außerdem sind am Flußlaufe entlang drei Ausgleichweiher vorhanden von zusammen 168000 cbm Fassungsraum. Die Gesamtbaukosten betragen 3040000 Mk. Das Nutzwasser soll genügen, um das Niedrigwasser der Wupper vor Barmen bei einem Niederschlagsgebiet von 300 qkm auf 6000 Sekundenliter bei einer natürlichen Wasserführung der Wupper von 4000 s/l und auf 5000 s/l bei geringerem Wupperabfluß, im Sommer auf 4200 s/l bei einer Wasserführung von 2800 s/l und auf 3500 s/l bei geringerem Wupperabfluß — während $14^1/_2$ Stunden am Tage — zu erhöhen. Zur Berechnung des Nutzens der Talsperren sind für jedes Werk Beitragskarten angefertigt worden, für welche der natürliche Wasserabfluß der Wupper in den mittleren Jahren 1888 und 1889 zugrunde gelegt ist[2]). Die statutenmäßigen Einheitspreise sind 80 Mk. für die Jahrespferdekraft bei 3000 Arbeitsstunden und 0,50 Mk. für 1 cbm Wasserentnahme während eines Jahres z. B. für Färbereien, Wäschereien. Im Jahre 1900 waren zum Geldbedarf

1) Zeitschr. für Bauwesen. 1889 und 1893. Hier sind auch über die Handhabung des Stauweiherbetriebes eingehende Mitteilungen gemacht.

2) Beispiele in der Zeitschrift »Die Talsperre« 1903.

von den Genossen rund 100000 Mk. aufzubringen und es fand eine Erhöhung der berechneten Beiträge auf $\frac{3}{2}$ der Normalbeiträge statt.

Über die Wasserkraftverhältnisse und den Wasserverbrauch der industriellen Werke an der Wupper, sowie die durch die Talsperren geschaffenen Wasserkräfte gibt die folgende Tabelle 20 Aufschluß.

Die Sammelbecken sind seit dem Jahre 1901 im Betriebe und einer einheitlichen Verwaltung — dem Vorsteher der Genossenschaft — unter Oberaufsicht der staatlichen Behörden unterstellt. Der Geschäftsgang ist durch ein Statut geregelt. Die wasserwirtschaftlichen Ergebnisse der Betriebsjahre 1901—05 sind in Tabelle 21 zusammengestellt.

Die Wirksamkeit der Wuppertalsperren wird demnächst vergrößert werden durch die im Bau begriffene Neyetalsperre von 6 Mill. cbm Stauraum, die neben der Wasserversorgung von Remscheid (als Ergänzung der bereits vorhandenen Talsperrenanlage) auch den Zwecken der Wuppertalsperren-Genossenschaft dienen wird. Ein weiteres Staubecken bei Hammerstein (1,6 Mill. cbm) im oberen Tale der Wupper selbst, sowie die Einschaltung von noch einigen Ausgleichweihern entlang am Flusse zur besseren Regulierung des Abflusses sind in Anregung gebracht.

Bemerkenswert sind die geringen bisherigen Unterhaltungskosten dieser Talsperren, woraus man allgemeinere Schlüsse für den Betriebsaufwand solcher Bauwerke ziehen kann. Nach den Jahresberichten betrugen die Kosten für laufende Unterhaltungs- und Ausbesserungsarbeiten in den Jahren 1902—05 an der Bevertalsperre etwa $^1/_5$ v. H., an der Lingesetalsperre etwa $^1/_{14}$ v. H. des Anlagekapitals. Der Unterschied erklärt sich aus besonderen Aufwendungen an der Bever im Jahre 1903. Das Mittel beider Sperren ist eine jährliche Ausgabe von $^1/_7$ v. H. des Anlagekapitals für die Unterhaltung.

Das Elektrizitätswerk Kubel (Schweiz) hat vier Tarife. Nach Tarif A für regelmäßig benutzte Kraft (10 bis 11 Stunden am Tage) beträgt der Jahrespreis:

für 1 PS. 320 Mk.
» 10 » 226 »
» 50 » 144 »

Für dauernde Stromabgabe bei Tag und Nacht erhöhen sich obige Preise um 40 v. H.

Tarif B. gilt für Kraft, die nur am Tage benutzt wird. Es kostet fürs Jahr 1 PS. 8 Mk. für die PS.-Stunde, mindestens jedoch 80 Mk. für Jahr

Tabelle 20. Zusammenstellung der durch die Wuppertalsperren gewonnenen Wasserkräfte.

Nr.	Bezeichnung der Werke	Gesamtgefälle in m	Gesamt-Wasserkraft für 1 Tag		Sonstiger Wasserverbrauch für Färberei, Wäscherei, Kondensation usw. in cbm für 1 Tag	Durch Talsperrenwasser gewonnene Wasserkräfte	
			nach jetziger Ausnutzung in PS.	nach voller Ausnutzung in PS		bei jetziger Ausnutzung in PS.	bei voller Ausnutzung des Wassers in PS.
1	5 Pulvermühlen mit 16 Motoren . . .	14,16	34	40	—	10,4	13,7
2	1 Knochenmühle mit 1 Motor . . .	3,55	17	17	135	9,0	9,0
3	9 Fruchtmühlen m. 10 Motoren . . .	19,85	140	453	—	13,7	18,5
4	15 Tuchfabriken mit 14 Motoren . . .	34,30	920	1120	9 200	207,1	215,0
5	7 Spinnereien mit 5 Motoren	11,15	450	675	4 860	98,0	99,4
6	3 Hammerwerke m. 13 Motoren . . .	9,87	50	65	—	2,0	6,0
7	6 Elektrizitätswerke mit 7 Motoren .	19,80	515	715	8 900	126,5	220,0
8	64 Druckereien, Färbereien, Bleichereien, Webereien usw. mit 9 Motoren	16,86	220	495	25 500	32,7	41,2
9	4 Eisengarnfabriken mit 3 Motoren	9,94	275	300	2 040	55,3	61,8
10	1 Bügeleisenfabrik mit 1 Motor . . .	1,70	18	50	—	6,9	7,9
11	4 Papierfabriken m. 6 Motoren . . .	6,20	322	370	1 400	80,7	80,7
12	19 Schleifereien mit 27 Motoren . . .	31,81	318	400	—	45,1	45,8
13	1 Filzfabrik mit 2 Motoren	6,40	101	230	200	14,1	55,4
14	1 Holzstofffabrik mit 2 Motoren .	4,60	189	189	—	20,4	20,4
15	1 Wasserwerk und Elektrizitätswerk mit 3 Motoren . .	5,25	300	300	—	74,2	74,2
16	2 Charnier- u. Metallschraubenfabriken mit 6 Motoren	6,20	184	220	—	15,1	25,0
	Zusammen	201,64	4053	5639	52 235	810,3	994,0

Bei vorstehender Aufstellung ist bei voller Ausnutzung der Wasserkraft nur diejenige Kraft berechnet, die der vorhandene Motor, unter Berücksichtigung der bestehenden Einrichtung des Werkes, leisten kann. Wollte man dagegen das ganze fließende Wasser berechnen, ohne Berücksichtigung der bestehenden Einrichtungen und Motoren, so würde sich die ganze zu erzeugende Wasserkraft bedeutend höher stellen.

Tabelle 21. Wasserwirtschaftliche Ergebnisse der Wuppertalsperren, zusammengestellt nach den Berichten über die Wuppertalsperren in den Jahren 1902—1905 [1]).

Jahr	Bevertalsperre (Niederschlagsgebiet: 22 qkm — Beckeninhalt: 3,3 Mill. cbm)						Lingesetalsperre (Niederschlagsgebiet: 9 qkm — Beckeninhalt: 2,6 Mill. cbm)						Bemerkungen
	Jahresniederschlag mm	Abgeflossene Wassermenge in Mill. cbm	Zugeflossene Wassermenge in Mill. cbm	Überlauf der Sperre in Mill. cbm	Abgegebene Nutzwassermenge in Mill. cbm	Abgegebene Nutzwassermenge im Verhältnis des Zuflusses v. H.	Jahresniederschlag mm	Abgeflossene Wassermenge in Mill. cbm	Zugeflossene Wassermenge in Mill. cbm	Überlauf der Sperre in Mill. cbm	Abgegebene Nutzwassermenge in Mill. cbm	Abgegebene Nutzwassermenge im Verhältnis des Zuflusses v. H.	Der jährliche Zufluß vom Quadratkilometer im Mittel der Jahre 1902—05 betrug: Bever 975 000 cbm, Lingese 981 000 cbm.
1901	1233	19,053	19,032	4,779	7,425	—	1309	6,991	7,724	1,0	4,672	—	Abfluß v. H. des Niederschlags
1902	1222	20,427	20,422	7,224	5,475	26,8	1299	10,340	8,780	2,509	4,235	48,2	Bever 71,1; Lingese 75,1
1903	1259	27,542	26,787	15,015	5,155	19,2	1486	9,062	10,347	2,386	3,460	33,4	Bever 90,5; Lingese 75,7
1904	1013	15,700	16,060	4,037	6,572 [2])	40,9	1149	8,017	7,062	1,279	4,285 [3])	60,6	Bever 67,5; Lingese 66,8
1905	1468	24,250	24,950	11,923	4,145 [4])	16,6	1520	9,049	10,224	3,153	3,320 [5])	32,5	Bever 75,9; Lingese 73,1

1) In der Zeitschrift »Wasserwirtschaft und Wasserrecht«.
2) Außerdem durch die Durchlaßrohre ab: 5,091 Mill. cbm.
3) Außerdem ab durch die Durchlaßrohre: 2,453 Mill. cbm.
4) Außerdem ab durch die Durchlaßrohre: 8,183 Mill. cbm.
5) » » » » » : 2,576 » »

und Pferd. 10 PS. kosten 4,8 Mk. für die PS.-Stunde, mindestens jedoch 58 Mk. für Jahr und Pferd. Dieser Tarif findet im allgemeinen nur Anwendung für Motoren unter 10 PS.

Nach Tarif C — gültig nur für Leistungen zwischen 2 bis 50 PS. — geschieht die Kraftabgabe nach Messung. Der Tarif eignet sich besonders für Abonnenten, deren Motoren einen unregelmäßigen Verbrauch haben. Die Grundtaxe für PS. und Jahr beträgt:

2	PS.	176	Mk.
10	»	148	»
50	»	80	»

Außerdem wird eine Verbrauchstaxe von 3,2 Pf. für die PS.-Stunde erhoben.

Der vierte Tarif D ist für Motorenbetrieb zwischen 10 Uhr nachts und 6 Uhr morgens aufgestellt. Nach demselben beträgt der Preis für PS. und Jahr:

für	10	PS. 80	Mk.
»	50	» 57,6	»
»	100	» 40	»

Auch die Stromabgabe für Beleuchtung unterliegt verschiedenen Tarifen und zwar bei Pauschalabonnements je nach der Anzahl der Brennstunden der Lampen im Jahr. Es werden beispielsweise gezahlt:

bei	0	bis	100	Brennstunden	3,8	Mk.
»	400	»	600	»	11,2	»
»	1500	»	2000	»	22,4	»

Die Mehrzahl der Lampen werden nach Zählern bezahlt, wobei der Strompreis 40 Pf. für 1 Kilowattstunde beträgt.

Für Koch- und Heizzwecke wird der Strom zu 16 Pf. für 1 KW.-St. abgegeben.

Das 5000 PS. starke Werk hat rund 4,3 Mill. Mk. gekostet. Der Betriebsüberschuß betrug im ersten Jahre (1901/02) rund 150 000 Mk., im zweiten Jahre rund 218 000 Mk.[1]).

Ein Bild der im Tageslaufe stark schwankenden Belastung dieses Werkes — und damit einen allgemeinen Anhalt für die Beurteilung der wechselnden Inanspruchnahme der Leistung von Elektrizitätswerken —

1) E. T. Z. 1904.

geben die Kurven in Abb. 59. Man ersieht, daß der Kraftbedarf im Laufe einer Stunde bis etwa auf das Doppelte steigt. Dementsprechend muß in den einzelnen Tagesstunden der Wasserzufluß zu den Turbinen verschieden sein, um bei gegebenem Gefälle die von den Verbrauchern jeweilig angeforderte Menge elektrischer Energie erzeugen zu können.

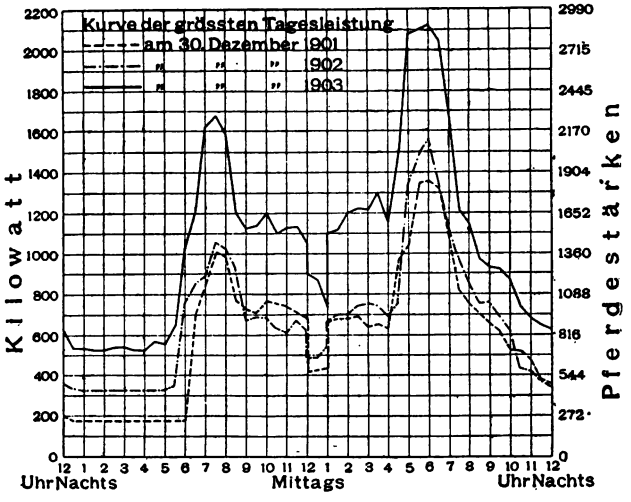


Abb. 59. Darstellung der Schwankungen in der Inanspruchnahme des Elektrizitätswerkes Kubel an drei Tagen stärkster Belastung.

Die Stadt Schaffhausen a. Rh. erwarb im Jahre 1898 die einer privaten Wasserwerksgesellschaft gehörenden beiden Wasserkraftwerke am Rhein und baute sie in den Jahren 1899 bis 1901 mit einem Kostenaufwand von 1 460 000 Mk. zu einer Leistungsfähigkeit von 2700 PS. aus. Der leitende Grundgedanke bei dieser Erwerbung war, daß der Reingewinn nicht der Stadtkasse zu gute kommen, sondern zur Förderung und Hebung öffentlicher Unternehmungen wie Beleuchtung, Straßenbahnen, Pumpwerken usw. verwendet werden sollte. Die Verwertung des elektrischen Stromes sollte vor allem in der Industrie Schaffhausens stattfinden. Anfang des Jahres 1901 wurde der Betrieb der neuen Anlagen eröffnet und im Jahre 1903 war bereits alle verfügbare Kraft vergriffen. Neuerdings ist die Erweiterung des Werkes beschlossen (s. S. 29). Dies Werk wird als ein glänzendes Zeichen städtischen Unternehmungsgeistes angesehen, aus dem die Industrie Schaffhausens wie die Stadt selbst (Straßenbahnbetrieb) großen Vorteil zieht.

Aus dem Beleuchtungsnetz wird elektrische Energie für technische Zwecke, zum Betrieb von Elektromotoren und sonstigen nicht zu Beleuchtungszwecken dienenden Maschinen zum Grundpreise von 18 Pf. für die Kilowattstunde abgegeben. Dieser Preis gilt nur in der Nacht von 12 Uhr ab und bis zum Eintritt der Abenddämmerung. Der Lichtpreis beträgt 48 Pf. für die KW.-Stunde, bei stärkerem Verbrauch erfolgt Rabatt. Der Mindestpreis für 1 Anschlußkilowatt beträgt bei Kraft 40 Mk., bei Licht 29 Mk. fürs Jahr[1]).

Über den eigenartigen Betrieb des Wasserwerkes der Stadt Luzern s. Abschn. V, 2, A.

Bei der bedeutenden Stellung, die die schweizerischen Werke auf dem Gebiet der Wasserkraftnutzung einnehmen, wird schließlich eine Übersicht der Tarife und der finanziellen Betriebsergebnisse einer Reihe größerer Anlagen, wie sie in Tab. 22 und 23 gegeben ist, interessieren[2]).

Tabelle 22. Tarife schweizerischer Wasserkraft-Elektrizitätswerke.

Elektrizitätswerk	Gesamtleistung	Preis der Jahrespferdekraft für 3000 Stunden und eine Motorengröße von			
		1 PS.	10 PS.	50 PS.	100 PS.
	PS.	Mark			
Ville de Genève[3])	19 000	320	214	138	112
Rheinfelden[4])	18 500	166	157	142	133
Beznau	9 300	172	157	135	128
Hauterive	7 200	200	157	140	145
Lausanne	6 440	320	224	172	172
Kanderwerk	6 000	196	168	—	—
Montbovon—Romont	5 400	200	157	—	145
Hagneck	5 200	168	140	—	116
Thusis	3 820	200	160	135	—
Olten—Aarburg	3 200	176	160	135	—
Neuchâtel	2 850	240	176	130	130
Chaux de Fonds	2 750	256	—	168	—
Sihlwerk	2 300	400	232	144	—
Schwyz	2 000	168	152	130	120
Aare-Emmelkanal	—	296	160	—	—
Elektrizitätswerk Bex	2 400	192	144	—	—
Bern	—	218	170	140	128
Basel	—	176	176	176	176

1) Die Elektrizitätswerke und die Straßenbahn der Stadt Schaffhausen. Zürich 1903.

2) Schweiz. Bauztg. 1906.

3) Näheres, auch über den Betrieb des Werkes, De La Brosse, Install. Hydro-Él.

4) Näheres über den Tarif und Betrieb des Werkes in »Beiträge zur Hydrographie des Großh. Baden«, XII. Heft 1906.

Tabelle 23. Finanzielle Betriebsergebnisse schweizerischer Wasserkraft-Elektrizitätswerke.

Name des Werkes	Zahl der Betriebsjahre	Dividende des Aktienkapitals im Mittel v. H.	Tilgung u. Rücklage in Hundertsteln des Aktienkapitals v. H.	Beide Posten zusammen v. H.
Olten—Aarburg	5	5,1	2,3	7,4
La Goule	10	3,7	1,6	5,3
Sihlwerk	11	4,0	2,2	6,2
Rathausen	8	4,9	3,4	8,3
Kubel	4	4.25	1,4	5,65
Motor	8	4,0	1,8	5,8
Rheinfelden	6	5,7	1,25	6,95
Societé Grand. Eaux	4	5,5	3,0	8,5
Lonza	7	3—6[1])	—	—
Usine des Clées, Yverdon	8	5,0[1])	—	—
Wynau	1	4,0[1])	5,0	9,0

C. Vergleich zwischen Wasser- und Wärmekraft in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung.

In Vergleichen über die Wirtschaftlichkeit von Wasser- und Dampf- oder anderen Wärmekraftanlagen wird vielfach betont, daß es lediglich die Ersparnis an Brennstoff sei, die zugunsten der ersteren ins Feld geführt werden könne. Aber diese Kosten fallen schon wesentlich ins Gewicht und werden bis auf 50 und 70 v. H. der gesamten unmittelbaren Betriebskosten der Kilowattstunde in dampfbetriebenen Einzelelektrizitätswerken beziffert. Nach der Statistik der öffentlichen Elektrizitätswerke stellen sich in Dampfanlagen die Betriebskosten wie folgt:

Tabelle 24. Übersicht über die Verteilung der unmittelbaren Betriebskosten in öffentlichen Elektrizitätswerken; in Pfennigen für die nutzbar abgegebene Kilowattstunde[2]).

Stadtgröße Einwohner	Brennmaterial	Schmiermaterial	Gehälter und Löhne	Unterhaltung	Gesamte unmittelbare Betriebskosten
Bis 10 000 E.	11,0	0,8	5,6	1,2	20,0
10 000 bis 30 000 »	8,6	0,88	7,1	1,86	23,3
30 000 » 50 000 »	6,45	0,67	5,1	2,3	17,5
50 000 » 150 000 »	6,37	0,65	4,9	1,16	16,27

1) 1905. 2) Nach Hoppe, Was lehren die Statistiken?

Zum Anhalt dafür, wie groß der Anteil der Kosten des Dampfes bei Dampfmaschinen ist, mag die nachstehende Tabelle 25 dienen.

Tabelle 25. Anteil der Kosten des Dampfes an den Gesamtkosten bei Dampfmaschinen[1]).

Art der Dampfmaschine	Kosten des Dampfes für 1 PS.-Stunde Pf.	Gesamtkosten des Dampfmaschinenbetriebes (Betriebskosten + Zinsen und Tilgung) Pf.
Einzylindr. Auspuffmaschine		
bis 5 PS.	7,0	8,21
5 » 10 PS.	6,50	7,61
10 » 40 PS.	5,5	6,31
40 » 100 PS.	4,50	5,14
Einzylindr. Kondens.-Masch.		
bis 30 PS.	3,75	4,22
Verbundmasch. mit Kondens.		
bis 50 PS.	2,5	3,16

Aber es sind bei einem solchen Vergleiche zwischen Wasser- und Wärmekraftanlagen noch eine Reihe von Umständen zu berücksichtigen, die zum Teil mit dem inneren Betriebe des Kraftwerkes, zum Teil mit der Gestaltung der Kraftabgabe an die Verbraucher in Zusammenhang stehen.

Allgemein wird man sagen können, daß der Betrieb der Wasserkraftwerke einfacher und reinlicher ist als bei den Wärmekraftwerken. Die Kesselanlage und andere Nebeneinrichtungen fallen fort und damit ihre Bedienung und die Förderung der Kohle. Es wird dadurch an Menschenkraft gespart, und dieser Gesichtspunkt ist doch sehr wesentlich. Die baulichen Anlagen beanspruchen bei den letzteren bei gleicher Leistung mehr Raum. Für die Dampfanlagen spricht andererseits der Gewinn warmen Wassers oder Auspuffdampfes, wenn hierfür zu Heizzwecken oder in Färbereien Verwendung ist.

Mit Recht wird darauf hingewiesen, daß bei Wasserkraftmaschinen das persönliche Element, das in der Kontrolle der laufenden Betriebskosten liegt, praktisch fortfällt. Ihr Wirkungsgrad ist nicht oder weniger abhängig von der Sorgfalt der Bedienung — der Wärter hat nur die

1) Nach Hoppe, Berechnungen von Betriebskosten.

Schützen zu öffnen und zu schließen. Der Lauf der Maschinen regelt sich selbst und das Werk läuft gleichsam selbsttätig. Das trifft bei Dampfanlagen nicht zu. Hier erfordert Kessel wie Dampfmaschine ständige Aufmerksamkeit und die Kosten für Brennstoff hängen in hohem Maße davon ab, wie der Wärter seine Schuldigkeit tut. Deshalb darf man zum Vergleich mit Wasserkräften nicht die Versuchsergebnisse von tadellos ausgeführten und ökonomisch in Pflege gehaltenen Dampfmaschinen heranziehen, sondern man muß mit mittleren Verhältnissen des praktischen Betriebes hinsichtlich der Kohlenbeschickung und sonstigen Wartung und Betriebsleitung rechnen — wie sie eben in gewöhnlichen Betrieben obwalten.

Weiterhin werden beim Vergleich der Einheitspreise mechanischer Kräfte mancherlei Fehler insofern gemacht, als die Stelle der Abgabe, auf welche sich der Preis bezieht, und ebenso die Zeit, für welche eine Kraft zur Verfügung steht, nicht immer klar hervortreten. Es ist ein Unterschied, ob der Preis sich auf die Rohkraft, die Abgabe an der Turbinenwelle, am Dynamo oder Motor im Kraftwerk oder dessen Nähe oder am Motor in der entfernten Werkstatt des Verbrauchers bezieht, ferner, ob die Berechnung einen 10-, 12- oder ununterbrochenen 24-stündigen Arbeitsbetrieb zugrunde legt. Man vergleiche hierüber auch Abschn. III D.

Eine Betriebskraft in abseitsgelegenen Tälern wird billiger sein müssen als in Mittelpunkten des gewerblichen Lebens, wenn sie mit letzteren wettbewerbfähig sein soll. Man muß sich vergegenwärtigen, daß die Rohstoffe z. B. in der Eisenindustrie in die Täler oft unter schwierigen Verkehrsverhältnissen geschafft und die fertigen Waren für den Absatz nach den Plätzen des Verbrauchs geliefert werden müssen. Die Herstellung in jenen entlegenen Arbeitsstätten — und entsprechend die Kosten der mechanischen Kräfte — werden also um den summierten Preis der Förderkosten billiger ausfallen müssen als in den Städten, sofern der Preis der benötigten menschlichen Arbeitskräfte in beiden Fällen gleich ist oder die Ausgaben hierfür nicht von wesentlichem Einfluß sind. Günstiger wird die Lage allerdings dort, wo die gefundenen Rohstoffe unmittelbar verarbeitet werden können.

Ein Beispiel sei angeführt, das diese Verhältnisse erläutert. Während die Triebwerke an der durch Talsperren regulierten Wupper die an der Turbinenwelle gemessene Pferdekraft bei 10stündigem Betrieb an 300 Ar-

beitstagen mit 80 bis 120 Mk. für das Jahr bezahlen, wurden in dem nahegelegenen Köln bei Kleinabgabe der Kraft aus dem städtischen Elektrizitätswerke für 1 Kilowattstunde im Durchschnitt erzielt 1899/00 46,5 Pf., 1900/01 46,9 Pf., 1901/02 37,1 Pf. Legt man den letzteren Preis zugrunde, so stellen sich die Kosten von 1 PS. in Köln bei 3000 Arbeitsstunden auf 856 Mk. Es erhellt ohne weiteres, wie unter solchen Umständen die Kosten und Kraftverluste der Fernübertragung auf etwa 40 km von der Wupper nach Köln ausgeglichen würden.

In den Statistiken oder Berechnungen über die Einheitspreise der Dampfpferdekraftstunde finden sich meist keine Angaben über die Dauer des Betriebes. Aber es ist diese naturgemäß sehr von Bedeutung. Dort wo ein dauernder Betrieb, sei es durch Tag und Nacht oder nur am Tage, stattfindet, wird, sofern er sich gleichmäßig über das ganze Jahr fortsetzt, der Einheitspreis in einer Wärmekraftanlage billiger ausfallen, als wenn der Kraftbedarf schwankt und zeitweise ganz unterbrochen ist, vielleicht nur für einige Stunden am Tage vorhanden ist. Auch in diesem Falle müssen Kessel und Dampfmaschine und Wärter ununterbrochen tätig sein und der Kohlenverbrauch stellt sich ungünstig. Dazu kommt, daß jede Einzeldampfmaschine für die mögliche Höchstleistung ausgebaut werden muß, so daß sie bei geringerer Belastung weniger vorteilhaften Wirkungsgrad hat. Die elektrische Kraft hingegen darf bei Bezug aus einem zentralen Werke nur für die Stunden bezahlt werden, in denen der Motor tatsächlich arbeitet. In diesem Umstande liegt es begründet, daß sich bei nur zeitweisem Gebrauch die elektrische Kraft selbst bei höheren Einheitspreisen vorteilhafter gestaltet als die Dampfkraft. Es soll allerdings nicht unterlassen werden hervorzuheben, daß diesen Vorzug der steten Betriebsbereitschaft und der Bezahlungsart auch der Gasmotor besitzt.

Die Einheitskosten der Wasserkräfte sind im wesentlichen von den Anlagekosten abhängig. Die beweglichen Kosten treten gegenüber den Aufwendungen für Verzinsung und Tilgung des Baukapitals mehr zurück und sie sind unabhängig von den Schwankungen des Industriemarktes, die den Preis der Kohle beeinflussen. Darin liegt ein Vorzug gegenüber den Wärmekräften, der in Zukunft mit den steigenden Kohlenpreisen sich mehr und mehr geltend machen wird. Aber es folgt daraus auch, daß diese Kraft, die an sich die Natur frei stellt und immer wieder ergänzt, noch in höherem Maße als bei Dampfanlagen, um so vorteilhafter wird, je gleichmäßiger ihre Ausnutzung stattfindet. Darin besteht ein gewisser

Gegensatz zu den Wärmekraftmaschinen, deren Betriebskosten im Verhältnis zur Betriebsdauer stehen. Solche gleichmäßige Abnehmer der Kraft stellen in günstiger Weise die Gewerbe der Elektrochemie und es ist bemerkenswert, daß damit zum Teil das dezentralisierende Bestreben der Wasserkräfte aufgehoben worden ist. Die Elektrochemie hat die Wanderung nach den Gewinnungsstätten der großen Wasserkräfte angetreten. Es ist dies im besonderen die Karbid- und Aluminiumindustrie, die Gewinnung von Eisen- und Mangansilikaten für die Glasbereitung und neuerdings die elektrische Stahlerzeugung. Am Niagarafall finden sich ungewöhnlich umfangreiche Fabrikanlagen dieser Art. Die Werke in der unmittelbaren Nähe des Niagara gebrauchen etwa 60000 PS. und ihr Bedarf ist das ganze Jahr über ohne Unterbrechung vorhanden. Der größere Teil der Kraft wird verwendet für metallurgische und elektrochemische Prozesse.[1]) Solche Ansiedlungen chemischer Werke, die zu Dörfern ausgewachsen sind, sind, wie schon in Abschn. III D erwähnt, in Deutschland u. a. am Rheinfall bei Schaffhausen, bei Rheinfelden und Gersthofen vorhanden.

Wenn eine dauernd gleichmäßig arbeitende Großdampfmaschine gegenüber der kleinen Dampfanlage Vorteile für die Herabminderung der Einheitskosten der Kraft bietet, so hat doch auch der Betrieb eines zentralen Werkes, das viele Abnehmer mit nur zeitweisem Bedarf speist, eine Erscheinung gezeitigt, die ebenfalls in dem Sinne der Verbilligung und Vereinfachung wirkt.

Die Erfahrung hat erwiesen, daß niemals alle angeschlossenen Motoren oder Lichtstellen im selben Augenblicke Strom brauchen. In einem weitverzweigten Betriebe wird das Werk im allgemeinen zu gleicher Zeit höchstens mit etwa 40 v. H. der angeschlossenen KW. in Anspruch genommen. Dieser Umstand ist für die Praxis und wirtschaftlich von ungemeiner Wichtigkeit. Man kann also mit einer Wasserkraft von bestimmter Größe, z. B. 1000 PS. den zweieinhalbfachen Bedarf, d. s. 2500 PS., in Einzelwerkstätten decken.

Zu gunsten der Verwendung der Wasserkräfte für elektrischen Lichtbetrieb tritt weiter hinzu, daß der größte Bedarf im Winter zeitlich mit dem Wasserreichtum zusammenfällt. Die Statistik städtischer Elektrizitätswerke erweist nun, daß im allgemeinen der Lichtverbrauch stärker

1) The Engineering Magazine, Dez. 1905.

als der Kraftverbrauch ist und das Verhältnis der Kraft- zur gesamten Stromabgabe für Kraft, Licht und öffentliche Beleuchtung bis 1 : 3 beträgt (siehe auch die Tabelle 26). Andererseits läßt die Tabelle 1 erkennen, daß von der gesamten Jahresabflußmenge im Durchschnitt etwa $^1/_4$ bis $^1/_3$ auf die Sommermonate April bis September und $^3/_4$ bis $^2/_3$ auf die übrigen Wintermonate entfällt. Dieser Kraftüberschuß in der Winterzeit kann vorteilhaft für die große Lichtbeanspruchung in den Abendstunden Verwendung finden. Diesem im Laufe weniger Stunden stark wechselnden Energiebedarf (Abb. 59) vermag ein Wasserkraftwerk mit Ausgleichweihern — wie an anderer Stelle ausgeführt ist — durch Einschaltung einiger Turbineneinheiten leicht zu folgen, während in einem Dampfkraftwerk die vermehrte Anheizung der Kessel umständlicher sein wird.

Tabelle 26. Verteilung der Stromabgabe im Jahresverlaufe[1]).
Elektrizitätswerk Düsseldorf.

	v. H. der Jahresabgabe
Juli	3,8
August	4,5
September	6,8
Oktober	10,6
November	12,9
Dezember	15,5
Januar	13,2
Februar	10,4
März	8,7
April	5,8
Mai	4,5
Juni	3,5
	100,0

Es war der Zweck der vorstehenden Ausführungen, auf einige allgemeine Gesichtspunkte in dem Vergleich zwischen Wasser- und Wärmekraft hinzuweisen. Die Entscheidung im gegebenen Falle wird naturgemäß von genauen Kostenermittelungen abhängen müssen, wofür im Abschnitt IV A und B Anhaltspunkte gegeben sind. Dabei wird man sich vergegenwärtigen müssen, daß unter sonst gleichen Umständen diejenige Anlage am vorteilhaftesten erscheinen muß, bei der die Summe

1) E. T. Z. 1896 S. 215.

der Anlagekosten und der kapitalisierten direkten Betriebskosten am kleinsten ist.

Wirtschaftliche Berechnungen über den Wert der Wasserkräfte an Kanälen und kanalisierten Flüssen.

Eingehende Studien, die auch allgemeineren Wert für die Beurteilung der wirtschaftlichen Bedeutung der Wasser- und Wärmeenergie haben, sind in den letzten Jahren mehrfach aus Anlaß von Plänen durchgeführt worden, die eine Verbindung von Anlagen für die Schiffahrt mit solchen für die Kraftgewinnung zum Gegenstande hatten. Es seien hier kurz die Ergebnisse dieser Ermittlungen mitgeteilt. In bemerkenswerter Weise zeigt sich, daß alle diese Untersuchungen zu einem dem Gedanken der Vereinigung von Schiffahrts- und Kraftgewinnungszwecken günstigen Schlusse führen.

Der Masurische Schiffahrtskanal soll die Schiffahrt von der masurischen Seenplatte nach dem Pregel vermitteln und gleichzeitig, indem er das überschüssige Wasser aus diesen Seen abführt, der Versumpfung weiter Wiesenflächen und den Schäden durch Überschwemmungen abhelfen und aus dem abgeleiteten Wasser bedeutende Kraftleistungen gewinnen lassen. Es ist geplant, das zur Verfügung stehende Gesamtgefälle von 112 m auf sechs geneigte Ebenen zu verteilen, an denen die sechs Kraftwerke mit einem zwischen 14 m und 28 m schwankenden Nutzgefälle errichtet werden sollen. Auf diese Weise können nach den Aufrechnungen Intzes[1]) mit einem Kostenaufwande von 3 Mill. Mk. rund 13000 PS., Tag und Nacht verfügbar, gewonnen werden, deren Jahreskosten zu 17 Mk. für 1 PS. ermittelt sind — also wesentlich hinter denen einer Dampfpferdekraft zurückbleiben. Unter Zugrundelegung eines Preises von 150 Mk. für eine vierundzwanzigstündige Dampfpferdekraft und Jahr berechnet Intze den jährlichen Gewinn aus den Wasserkräften des Masurischen Kanals gegenüber einer gleichen Leistung durch Dampf zu 1,73 Mill. Mk. und den Kapitalgewinn zu nahezu 35 Mill. Mk.

Für den Absatz der Kraft bieten die umliegenden landwirtschaftlichen Betriebe, sowie Städte und Gemeinden, in denen der elektrische Strom für Kraft und Lichtzwecke vorteilhafte Verwendung finden und

1) Nutzbarmachung erheblicher Wasserkräfte durch den Masurischen Schiffahrtskanal.

eine neuzeitliche Entwicklung hervorrufen würde, sowie die Erschließung gewerblicher Betätigung auf der Grundlage des Holzreichtums der Gegend gute Aussicht, während der Kanal als Verkehrsweg die landwirtschaftlichen und Bodenschätze Ostpreußens dem großen Markt näher bringen würde.

Vergleichende Kostenberechnungen über die Verwertung der Wasserkräfte an Wehren und in Dampfwerken hat Werneburg angestellt. Dabei wurden der Untersuchung die Wasserverhältnisse an der Stauanlage von Güdingen an der Saar zugrunde gelegt[1]).

An Wassermenge und Gefälle stehen dort zur Verfügung

1. an 10 Tagen im Jahre 7,72 cbm Wasser bei 2,0 m Gefälle.
2. » 234 » » » 9,80 » » » 2,0 » »
3. » 79 » » » 9,80 » » » 1,5 » »
4. » 6 » » » 9,80 » » » 0,8 » »
5. » 36 » » » 9,80 » » » 0,0 » »

An diesen 36 Tagen ist die Ausnutzung der Wasserkraft infolge der Niederlegung des Wehres unmöglich. Es würde somit, um ständigen Betrieb zu sichern, die Anlage einer Wärmekraftaushilfe nötig sein.

Tabelle 27. Betriebskostenvergleich zwischen Wasser- und Dampfkraft an der Saar.

Reine Wasserkraftanlage. 170 PS. an 270 Tagen, Tag und Nacht. Kosten in Mark für 1 PS.	Wasserkraftanlage mit Dampfaushilfe. 200 PS. an 300 Arbeitstagen, Tag und Nacht. Kosten in Mark für 1 PS.	Dampfkraftwerk. 200 PS. an 300 Arbeitstagen, Tag und Nacht. Kosten in Mark für 1 PS.	Wasserkraftanlage mit Dampfaushilfe. Elektr. Kraftübertragung auf 20 km. Von den 200 PS. stehen am Verbrauchsort 146 PS. zur Verfügung. Kosten in Mark für 1 PS.	Bemerkungen
43,2	101,3	201	178	Die Kosten für die Kohlen sind mit 10,8 Mk. für 1 t angesetzt. — Die Herstellungskosten der Anlagen sind an der Hand skizzierter Baupläne ermittelt.

Die mittlere Leistung der Kraftanlage ist entsprechend Wassermenge und Gefälle auf 200 PS. bemessen. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 27 zusammengestellt. Aus diesen folgert Werneburg,

1) Zentralbl. d. Bauverw. 1897.

daß an Ort und Stelle (am Wehr) die Wasserkraft mit Dampfaushilfe im Jahre um rd. 200 (201—101) = 20000 Mk. bei gleicher Leistung billiger als ein Dampfkraftwerk arbeiten würde. Das bedeutet allerdings einen beträchtlichen volkswirtschaftlichen Gewinn. Werneburg weist weiter darauf hin, daß selbst nach Fernübertragung auf 20 km sich die Wasserkraft noch um 23 Mk. niedriger stellt als die Dampfkraft in einer am Ort des Gebrauchs errichteten Dampfanlage. Dabei handelt es sich um den Vergleich zweier Anlagen von 200 PS. bei Annahme niedriger Kohlenpreise und mit Recht wird in dem Aufsatz betont, daß in gewerblichen Anlagen mit Kleinkraftbedarf von wenigen PS. die Dampfkraft wesentlich teurer arbeitet als hier berechnet. Bei solcher Kleinverteilung werden also die Vorteile der Wasserkraft noch mehr hervortreten.

Zum weiteren Vergleich seien hier noch die Selbstkosten für Bau und Betrieb von Wasser- und Dampfkraftanlagen an kanalisierten Flüssen nach den in Abschn. III E erwähnten Prüsmannschen Untersuchungen angegeben. Wie ersichtlich, sind die in Tabelle 28 zusammengestellten Hauptergebnisse gleich günstige für die Wasserkraftnutzung wie in den obigen Ermittlungen. Nach den eingehenden Untersuchungen[1]) beträgt die vollständige Außerbetriebsetzung an den deutschen Flüssen wie der Weser, dem Main, der Oder und der Mosel jährlich 67 bis 98 Tage. Dazu kommt die Verminderung der Wasserkraft in den Zeiten der Trockenheit. Prüsmann baut seine Berechnungen auf eine mittlere Wasserkraft, die an 200 Tagen im Jahre zur Verfügung steht, auf und bemißt darnach die Maschinenstärke der Wasser- und Dampfkraft, die in gegenseitiger Ergänzung arbeiten sollen. Die Ergebnisse erweisen, daß dieser gemischte Betrieb — obwohl die untersuchten Plätze an schiffbaren Gewässern liegen und demnach billigen Kohlenbezug haben — wirtschaftlich vorteilhaft ist, falls Absatz für die Kraftmenge vorhanden ist. Man ersieht, daß die Einheitskosten dabei geringer als bei dem reinen Dampfbetriebe sind. Die gesamte erschließbare Kraft an 85 Wehren der genannten vier Flüsse wird zu 223 000 PS. berechnet.

Über die Verwertung der Wasserkräfte bei etwaiger Kanalisierung der Mosel und Saar sind in letzter Zeit erneute Aufrechnungen an-

1) Ausnutzung der Wasserkräfte an Wehren kanalisierter Flüsse. IX. internat. Schiffahrtskongreß 1902.

Tabelle 28. Selbstkosten für Bau und Betrieb von Wasser- und Dampfkraftanlagen an kanalisierten Flüssen.

Art der Krafterzeugung und tägliche Betriebsstunden	Weser bei Rintelen 1000 PS.			Main bei Frankfurt 2000 PS.			Oder bei Krappitz 1000 PS.			Mosel bei Valwig 2000 PS.			Bemerkungen
	Baukosten für 1 PS. Mk.	Jährl. Kosten für 1 PS. Mk.	Für 1 PS. Stunde Pf.	Baukosten für 1 PS. Mk.	Jährl. Kosten für 1 PS. Mk.	Für 1 PS. Stunde Pf.	Baukosten für 1 PS. Mk.	Jährl. Kosten für 1 PS. Mk.	Für 1 PS. Stunde Pf.	Baukosten für 1 PS. Mk.	Jährl. Kosten für 1 PS. Mk.	Für 1 PS. Stunde Pf.	
Wasserkraft mit voller Dampfaushilfe													Jährliche Betriebsdauer: 365 Tage. Ohne elektr. Anlagen. Wasserkraft steht außerdem nachts fast kostenfrei zur Verfügung.
24 Stunden	779	140	1,6	926	141	1,6	897	161	1,8	789	138	1,6	
12 »		105	2,4		108	2,5		117	2,7		103	2,4	
Nur Dampfbetrieb													Jährliche Betriebsdauer: 365 Tage. Kohlenpreisannahme: 16 Mk. für 1 t. Ohne elektr. Anlagen.
24 Stunden	461	249	2,8	461	249	2,8	461	249	2,8	461	249	2,8	
12 »		148	3,4		148	3,4		148	3,4		148	3,4	

Anmerkung. Die Tabelle zeigt die vorteilhafte Preisgestaltung der Wasserkraft bei ununterbrochenem Tag- und Nachtbetrieb. (24 Stunden.) — In den Preisen sind die für die Schiffahrtszwecke ohnehin notwendigen Aufwendungen (Wehranlage) nicht berücksichtigt.

gestellt worden[1]). Diese haben erkennen lassen, daß an 32 Staustufen der Mosel auf preußischem Gebiet bei mittleren Wasser- und Gefällverhältnissen 35000 PS. und an 16 Staustufen der Saar 10000 PS. nutzbar gemacht werden können. Auf der lothringischen Moselstrecke stehen außerdem noch 5000 PS., mithin im ganzen 50000 PS. zur Verfügung. Die Turbinenanlagen sind neben den für die Schiffahrt erforderlichen Einrichtungen am Ufer mit kurzen Werkkanälen geplant und mit voller Dampfaushilfe vorgesehen. Aus diesen Ermittlungen ist hervorzuheben, daß in größeren Kraftwerken von z. B. 1000 PS. Leistung und bei 3000 Betriebsstunden sich die Jahreskosten für 1 PS. in Form von elektrischer Energie (im Kraftwerk an der Dynamowelle) zu 129 Mk., in einem zum Vergleich mitberechneten Dampfwerke zu 162 Mk. ergeben. Die auf 10 bis 30 km elektrisch übertragene und verteilte Wasserkraft würde 172 bis 185 Mk. kosten.

Die Denkschrift faßt die Schlußfolgerungen ihrer Untersuchungen dahin zusammen, daß die Erzeugung mechanischer Arbeit von 225 PS. effektiver Leistung und darüber durch örtliche Dampfmaschinen sich billiger stellt als durch Übertragung der Wasserkraft auf größere Entfernung. Die Erzeugung von elektrischem Strom hingegen ist bei beliebigem Kraftbedarf und mindestens 3000 Betriebsstunden billiger von einem Wasserkraftwerk zu beziehen, auch wenn dasselbe noch 25 bis 28 km von der Verwendungsstelle entfernt ist.

Den Aufrechnungen liegt ein Kohlenpreis von 16 Mk. für 1 Tonne zugrunde; die für die Schiffahrt aufzuwendenden Kosten (Wehranlage) sind darin nicht berücksichtigt.

Von den in Abschn. III E erwähnten österreichischen Untersuchungen liegen bisher die Ergebnisse für die Mittelelbe vor. Es sollen darnach alle Gefällstufen an der Elbe zwischen Königgrätz und Melnik für die Kraftausnutzung herangezogen und an 20 Stellen Turbinenwerke eingerichtet werden. Die gewinnbare Kraft ist zu 21300 PS. berechnet. Dampfaushilfe ist vorgesehen in dem Maße, daß die Wasserkraft 86 v. H., die Dampfkraft 14 v. H. der Gesamtarbeit leistet. Der Erzeugungspreis der Kilowattstunde soll sich auf 2,4 Pf. stellen. Es ist geplant, alle Kraftwerke in ein einheitliches Leitungsnetz arbeiten zu lassen, so daß die Gesamtanlage zentralisiert wird. Die Verwertung der Wasserkräfte ist in

1) Denkschrift über die Verwertung der Wasserkräfte bei etwaiger Kanalisierung der Mosel und Saar. Bearbeitet im Preuß. Ministerium der öffentl. Arbeiten. 1906.

der Weise gedacht, daß der Staat den Bau in die Hand nimmt, aber die Ausnutzung den Gemeinden und Bezirksvertretungen gegen Zahlung von Beiträgen überläßt.

Zu ähnlich günstigen Ergebnissen haben die Untersuchungen an der Kanalisierung der Moldau von Prag bis Melnik geführt[1]). Auch bei dem Plane für die Verbesserung der Schiffbarkeit der bayrischen Donau ist auf die Ausnutzung der Wasserkräfte an den Wehren gerücksichtigt[2]). An der Moldau besitzen die beiden Schleusen von Horin ein Gefälle von 9 m. Es können durchschnittlich 900 PS. gewonnen werden. Man wird auch hier ohne Dampfaushilfe nicht auskommen können und die Pferdekraftstunde stellt sich rechnungsmäßig auf 1,7 Pfennige.

Vergleichende Voruntersuchungen für eine Talsperren- und Wasserkraftanlage.

Es mag hier am Platze sein, aus den Voruntersuchungen für die Talsperren- und Wasserkraftanlage der Stadt Solingen einige Mitteilungen zu machen, weil die maßgebenden Gesichtspunkte und Voransätze hierzu der Erfahrung und aus Betriebsergebnissen entnommen worden sind. Den Ermittelungen — auf gleicher Grundlage für alle Projekte angestellt — kann somit in gewissem Maße allgemeinere Bedeutung beigelegt werden, und sie gewähren einen lehrreichen Einblick in den Vergleich zwischen Wasser- und Dampftriebkraft bei einem Unternehmen in deutschen Mittelgebirgsverhältnissen.

Diese Voruntersuchungen hatten zu der Erkenntnis geführt, daß die Versorgung der Stadt Solingen mit einem guten und gesunden Trinkwasser sowohl aus dem Grundwasserstrom der Rheinebene oberhalb Düsseldorf wie durch Anlegung einer Talsperre im Gebirge erreicht werden konnte. Die technische Möglichkeit hierzu war für beide Fälle nachgewiesen, und besondere Schwierigkeiten standen der Ausführung an sich nicht entgegen. Im besonderen hatte man hinsichtlich der Güte des Wassers keiner der beiden Gewinnungsweisen den Vorzug gegeben; beide Versorgungsarten — Grundwasser und aufgestautes Oberflächenwasser — sah man als gut und gleichwertig an. Unter diesen Umständen mußte die finanzielle Prüfung und Klarstellung des Unternehmens den

1) Zeitschr. d. österreich. Ing.- u. Arch.-Ver. 1905 S. 462.

2) Faber, Denkschrift über die Verbesserung der Schiffbarkeit der bayrischen Donau.

Ausschlag geben. Hierzu wurden vergleichende Kostenanschläge aufgestellt, wobei nicht nur die augenblicklichen Baukosten, sondern auch die bei einem Vergleich zwischen einer Wasserkraft- und Dampfanlage sehr ins Gewicht fallenden Betriebsunkosten in Rücksicht gezogen wurden.

Es kamen für die Ausgestaltung der Wasserversorgungsanlage folgende Möglichkeiten in Betracht:

I. Grundwassergewinnung in der Rheinebene oberhalb Düsseldorf.

Jahresleistung 2000000 cbm Trinkwasser. Förderhöhe von der Rheinebene bis zum Solinger Hochbehälter 216 m; Betriebshöhe 225 bis 230 m. Druckrohrlänge 19,5 km. Dampfmaschinen- und Pumpenanlage für 560 eff. PS. maximaler, 420 eff. PS. mittlerer Leistung.

Ergebnisse der Untersuchung:

Anlagekosten	1350000 Mk.
Betriebskosten für 4800 Stunden im Jahr:	
Während der Tilgung	136400 Mk.
Nach der Tilgung	86000 »
Es kostet 1 cbm gefördertes Wasser in Solingen:	
Während der Tilgung	6,8 Pf.
Nach der Tilgung	4,3 »

II. Anlage eines Sammelbeckens von 3000000 cbm Stauinhalt im Sengbachtale 1 km oberhalb Glüder (siehe Abb. in Abschn. V, 2, H) für Trinkwasser- und Kraftgewinnung bis zur jährlichen Leistungsfähigkeit von 1480000 cbm Trinkwasser mit Wasserkraftwerk an der Wupper.

Um den Inhalt von 3000000 cbm zu schaffen, mußte an der für die Errichtung der Sperrmauer in Aussicht genommenen Stelle, wie Ermittlungen an der Hand der Meßtischblätter ergaben, ein Aufstau des Wassers von rd. 35 m bewirkt werden. Die Talsohle lag dort auf + 112 NN., der Wasserspiegel des gefüllten Beckens also auf + 147 NN. Da der Wasserspiegel der Wupper bei mittlerem Hochwasser an der Kraftstation auf rd. + 84 NN. liegt, so stand vom Wasserspiegel des Talbeckens bis zu den Turbinen ein absolutes Gefälle von 63 m zur Verfügung, wovon abzüglich der Reibungsverluste in der nur kurzen

Rohrleitungsstrecke etwa 62 m nutzbar gemacht werden konnten. Die Erfahrungen an der Talsperre im Eschbachtale bei Remscheid über die Wasserspiegelschwankungen des dortigen Sammelbeckens hatten gezeigt, daß der mittlere Wasserspiegel während des ganzen Jahres nicht sehr tief unter dem höchsten Wasserspiegel liegt. Es konnte hiernach für 35 m Stau eine Absenkung des mittleren Wasserspiegels um höchstens 10 m in Rechnung gestellt werden. Es stand also für die gesamte Wassermenge aus dem Talbecken ein Nutzgefälle von wenigstens 50 m für Triebzwecke zu Gebote. Vom mittleren Wasserspiegel des Beckens bis zum Hochbehälter in Krahenhöhe bei Solingen war das Wasser um etwa 130 m zu heben. Hiernach ergibt sich die erforderliche Wassermenge x, um den zukünftigen Trinkwasserbedarf von 2 Mill. cbm hochzupumpen, aus der Bedingung

$$x \cdot 50 \cdot 0{,}6 = 2000000 \cdot 130,$$

wobei aus 75 v. H. Nutzwirkung der Hochdruckturbinen und 80 v. H. für die Pumpen, 60 v. H. der Gesamtanlage in Ansatz gebracht wurde. Man findet $x = 8700000$ cbm. Diese Kraftwassermenge ist unter normalen Verhältnissen im Sengbachtale nicht vorhanden, da nach den Ermittlungen eine mittlere jährliche Abflußmenge von 7,9 Mill. cbm zu erwarten war, so daß für den, allerdings erst nach vielen Jahren eintretenden Fall des stärksten Wasserverbrauchs eine Dampfkraft zur Hilfe genommen werden müßte. Fragt man sich, bis zu welcher größten Leistung y für die Wasserversorgung selbst im trockensten Jahre die Gesamtanlage ohne Zuhilfenahme einer Dampfkraft ausreichen würde, so hat man hierfür die Bedingung:

$$(7900000 - y)\, 50 \cdot 0{,}6 = y \cdot 130,$$

woraus $y =$ rd. 1480000 cbm folgt. Bis zu dem Zeitpunkt, in welchem dieser Jahresverbrauch erreicht sein wird, könnte die Wasserkraft allein die Wasserförderung besorgen. Diese Wassermenge würde für eine Einwohnerzahl von etwa 90000 genügt haben; es wäre also der Wasserbedarf für Jahrzehnte hinaus gedeckt gewesen.

Es wurden ermittelt:

Anlagekosten	1200000 Mk.
Betriebskosten für 4800 Stunden im Jahr:	
Während der Tilgung	62000 Mk.
Nach der Tilgung	12000 »

Es kostet 1 cbm Versorgungswasser in Solingen:

Während der Tilgung	3,1 Pf.
Nach der Tilgung	0,6 »

III. Anlage eines Sammelbeckens mit Wasserkraftwerk wie unter II, jedoch mittels Dampfaushilfe erhöht bis zur jährlichen Leistungsfähigkeit von 2000000 cbm Trinkwasser.

Es war für diesen Zweck erforderlich, neben der Turbinenanlage von 240 PS. eine Dampfmaschine von 100 PS. vorzusehen.

Anlagekosten	1300000 Mk.

Betriebskosten für 4800 Stunden im Jahr:

Während der Tilgung	66000 Mk.
Nach der Tilgung	15000 »

Es kostet 1 cbm Versorgungswasser in Solingen:

Während der Tilgung	3,3 Pf.
Nach der Tilgung	0,75 »

IV. Anlage eines Sammelbeckens mit Wasserkraftwerk wie unter II, jedoch durch Nutzbarmachung der durch ein neues Wehr aufgestauten Wupper erhöht bis zur jährlichen Leistungsfähigkeit von 2000000 cbm Trinkwasser.

Es war neben der Hochdruckturbine von 150—200 PS. für die Ausnutzung des Talsperrenwassers eine Niederdruckturbine für das Wupperwasser von 250 PS. vorgesehen.

Anlagekosten	1940000 Mk.

Betriebskosten:

Während der Tilgung	114000 Mk.
Nach der Tilgung	30000 »

Es kostet 1 cbm Versorgungswasser im Hochbehälter in Solingen:

Während der Tilgung	5,7 Pf.
Nach der Tilgung	1,5 »

V. Anlage eines Sammelbeckens und eines Wasserkraftwerkes wie unter IV bis zur jährlichen Leistungsfähigkeit von 2000000 cbm Trinkwasser mit Nutzbarmachung des Kraftüberschusses aus der Wupper in einer mit dem Wasserwerk verbundenen elektrischen Kraft- und Lichtzentrale.

Die Berechnungen der Leistungen der aus der Wupper und dem Sammelbecken zu gewinnenden Wasserkräfte ergaben hiernach, daß über den zukünftigen stärksten Bedarf des Wasserwerkes für Versorgungszwecke von 2,0 Mill. cbm jährlich und für Kraftzwecke zur Hebung dieser Wassermenge nach der Stadt selbst unter Zugrundelegung sehr trockner Jahre, wie es 1892 und 1893 gewesen waren, noch ein Überschuß an Kraft von jährlich 2,4—2,5 Mill. Pferdekraftstunden zur Verfügung stand, und es kam in Betracht, diese mechanische Arbeitsleistung nach Umsetzung in elektrische Energie mittels Fernleitung auf 6 km für die Stadt Solingen zu erschließen. Bei Annahme von nur 70 v. H. Nutzwirkung der Kraftübertragung konnten 1 600 000—1 700 000 Pferdekraftstunden der Stadt dienstbar gemacht werden.

Die Verhältnisse für eine so erweiterte Anlage des Wasserwerks lagen bei Glüder außerordentlich günstig. Man verfügte hier über zwei Wasserkräfte, welche sich gegenseitig ergänzen konnten. In wasserreicher Zeit konnte die Wupper allein die Arbeitsleistung liefern. In trockner Zeit würde sie allerdings versagt haben. Zwar wird ihre Wasserführung durch die Anlage von 2 großen Talsperren an der Bever und Lingese sowie durch die kleineren Ausgleichweiher reguliert und auf eine geringste Wasserführung von 5—6 cbm sekundlich gebracht (s. S. 143). Allein das genügte nicht. Auch erfolgt dieser Kraftzufluß nicht regelmäßig. Es gibt vielleicht keinen Fluß, der in dieser Hinsicht so eigenartige Verhältnisse zeigt wie die Wupper. Man kann sie heute kaum noch als ein natürliches Flußgerinne ansehen. Über Sonntag und in den Feiertagen liegt sie fast ganz trocken, weil dann die Triebwerke nicht arbeiten und sämtlicher Abfluß in den drei am Flusse entlang verteilten Ausgleichweihern und in vielen kleinen privaten Triebwerkweihern aufgefangen und zurückgehalten wird. Aber auch über Tag wechselt ihre Wasserführung in starkem Maße, weil der natürliche Abfluß durch willkürliche Anstauungen in den privaten Werken vielfach gestört wird. Wenn zwar diese täglichen Unregelmäßigkeiten durch weiteren Ausbau von Sammelbecken, vermehrte Anlage von ausgleichenden Zwischenstauungen und polizeiliche Maßnahmen zu beseitigen sein würden, so bleiben für ein an ununterbrochenen Betrieb gebundenes Werk der Mangel des Wassers an Sonntagen und die Schwankungen der einzelnen Tagesstunden sehr störend, und solche Zustände müssen auf seinen Betrieb lähmend wirken. Hier nun sollte durch das Sammelbecken im Sengbachtale, von welchem

aus, wie oben bemerkt, bis zur Kraftstation an der Wupper ein mittleres Gefälle von 50 m nutzbar gemacht werden konnte, eine vortreffliche Ergänzung geschaffen werden.

Es war naturgemäß in Aussicht zu nehmen, die Wupper solange und insoweit arbeiten zu lassen, als ihre Kraft ausreichte. Erst wenn sie im Stich ließ, sollte das Talbecken eintreten. Die in einem Gebäude zu vereinigende Anlage der Niederdruckturbinen für das Wupperwasser und der Hochdruckturbinen für das Talsperrenwasser ermöglichte diese Umschaltung jederzeit im Augenblicke (s. Abb. 26, 27, 28 u. 47). Die beiden auf verschiedenen Wegen gewonnenen Kräfte konnten überdies, wenn erforderlich, gleichzeitig zur Befriedigung des vollen Bedarfs zusammenarbeiten. Es vermochte ein geschickter Betrieb sich dem jeweiligen Bedarf und dem jeweiligen Kraftzufluß in bester Weise anzupassen. In dieser eigenartigen Ausnutzung der natürlichen Energien liegt ein besonderer Vorzug der Solinger Wasserkraftanlage.

Es durfte als sicher angenommen werden, daß die im Sengbachtale zu gewinnende elektrische Kraft für Licht und motorische Zwecke in Solingen Absatz finden würde. Für einen Teil davon hatte die Stadt in eigenen Betrieben und für die Straßenbeleuchtung Verwendung. Im übrigen war ein Bedarf an elektrischem Licht in den kaufmännischen und industriellen Betrieben vorhanden. Ebenso konnte erwartet werden, daß die Kraftabgabe im kleinen an die Gewerbe der Solinger Kleinindustrie einem Bedürfnisse entsprechen würde. Diese Voraussetzungen sind bei dem späteren Betriebe durchaus eingetroffen (s. Abschn. IV B).

Der Voranschlag für das neue Wasserwerk mit elektrischer Kraft- und Lichtzentrale ergab eine Kostensumme von 2 260000 Mk.

Die Betriebskosten wurden ermittelt:

Während der Tilgung zu . . . . 68000 Mk.
Nach der Tilgung berechneten sich 28000 » Überschuß.

Bei Annahme, daß von den in der Stadt für elektrische Zwecke zur Verfügung stehenden 1,6 Mill. Pferdekraftstunden nur 1 200000 zum durchschnittlichen Preise von 6 Pf. für 1 PK.St. Absatz finden würden, ergab sich, daß während der Tilgung 1 cbm Versorgungswasser im Hochbehälter in Solingen 3,4 Pf. kosten würde. Nach der Tilgung ist ein Überschuß von 28000 Mk. oder 1,4 Pf. für 1 cbm vorhanden. Dabei wird dann das Wasserquantum von 2000000 cbm umsonst in die Stadt

Tabelle 29. Ergebnisse der vergleichenden Voruntersuchungen für eine Talsperren- und Wasserkraftanlage der Stadt Solingen.

Entwurf	Art der Wassergewinnung	Leistung der Pumpen in Kubikmetern jährlich	Mittlere Förderhöhe im Jahre	Mittleres Nutzgefälle der Wasserkraft für die Hochdruckturbinen	Anlagekosten einschl. Grunderwerb	Betriebskosten jährlich		Kosten für 1 cbm Wasser im Hochbehälter in Solingen	
						Während der Tilgung	Nach der Tilgung	Während der Tilgung	Nach der Tilgung
		cbm	m	m	Mk.	Mk.	Mk.	Pf.	Pf.
I	Grundwasserversorgung vom Rhein . . . . . Nur Dampfkraft.	2 000 000	216 bis 230	—	1 350 000	136 400	86 000	6,8	4,3
II	Sammelbecken von 3 Mill. cbm Stauinhalt im Sengbachtale . . . . . Nur Wasserkraft.	1 480 000	130 bis 190	40 bis 50	1 200 000	62 000	12 000	3,1	0,6
III	Sammelbecken von 3 Mill. cbm Stauinhalt im Sengbachtale . . . . . Wasser- u. Dampfkraft.	2 000 000	130 bis 190	40 bis 50	1 300 000	66 000	15 000	3,3	0,75
IV	Sammelbecken von 3 Mill. cbm Stauinhalt im Sengbachtale mit Nutzbarmachung des Wuppergefälles. . . . . Nur Wasserkraft, ohne Elektrizitätswerk.	2 000 000	130 bis 190	40 bis 50	1 940 000	114 000	30 000	5,7	1,5
V	Sammelbecken von 3 Mill. cbm Stauinhalt im Sengbachtale mit Nutzbarmachung des Wuppergefälles. . . . . Nur Wasserkraft, mit Elektrizitätswerk.	2 000 000[1])	130 bis 190	40 bis 50	2 260 000	68 000	Überschuß 28 000[2])	3,4	Überschuß durch die Elektrizität 1,4 Pf. für 1 cbm.

1) Außerdem Leistung von 1,6 bis 1,7 Mill. Pferdekraftstunden jährlich in Solingen.

2) Außerdem werden die 2 Mill. cbm Wasser umsonst in die Stadt geliefert.

geliefert werden. Bei Verkauf dieses Wassers stand also eine bedeutende Einnahme aus dem städtischen Wasserwerk in Aussicht.

Auf Grund dieser Überlegungen und an der Hand der Rentabilitätsberechnungen, deren Ergebnisse in der vorstehenden Tab. 29 zusammengestellt sind, konnte es nicht zweifelhaft erscheinen, daß für die Wasserversorgung der Stadt Solingen die Anlegung eines Sammelbeckens im Sengbachtale zu wählen sei und daß es sich empfehle, dieses neue Wasserwerk zu einer elektrischen Kraft- und Lichtzentrale auszubauen.[1])

1) Beschreibung der Anlage und Ausführung s. Zeitschr. f. Bauw. 1904.

V. Neuere Bestrebungen zur Ausnutzung der Wasserkräfte in den Kulturländern.

1. Die Wasserkraftfrage der Gegenwart.

In allen Kulturländern der Erde erkennt man gegenwärtig die Bedeutung mechanischer Arbeitsleistung im Wirtschaftsleben, und es herrscht überall eine lebhafte Bewegung zur Erschließung der Wasserkräfte. Es ist naturgemäß, daß diese Bestrebungen dort am stärksten zum Ausdruck kommen, wo große Kohlenlager fehlen und wo die Beschaffung dieses Feuerungsstoffes infolge der großen Förderstrecken teuer wird. Die Schweiz, Italien, Schweden und Norwegen und die Westküste von Nordamerika haben die Führung und es scheint fast, als ob die Natur, indem sie diesen Ländern die »schwarzen Diamanten« versagte, in der »weißen« und »grünen« Kohle ausgleichenden Ersatz geben wollte. Aber auch andere Länder, wie Frankreich, Österreich, selbst England verhelfen dem Gedanken der Verwertung des Wasserreichtums in ihren Gebirgen und an den Wasserläufen gegenwärtig zu reicher praktischer Betätigung, und in Deutschland hat man durch den Bau neuerer großer Kraftzentralen dargetan, daß man auf diesem Wege nicht zurückbleiben will. Einen Maßstab, welche Fortschritte bei dem Anwachsen der Industrie die Ausnutzung der Wasserkräfte gemacht hat, mögen die nachstehenden Angaben bieten, die dem Werke von Wagenbach über Turbinenanlagen entnommen sind. Von einigen hervorragenden Turbinenbauanstalten haben z. B. geliefert:

Voith, Heidenheim, bis Ende 1904 etwa 1800 Turbinen für zus. 320000 PS.

Escher, Wyß & Co, Zürich, bis Ende 1904 etwa 3700 Turbinen für zus. 700000 PS.

The Platt Iron Works Co, Dayton, Ohio, bis Ende 1902 5422 Turbinen für zus. 1040000 PS.

Wirtschaftsgebiete für die Verwertung der Wasserkräfte.

Schon der bisherige Gang der Entwicklung der Wasserkraftverwertung hat im ganzen die Stellung der Wasserkraft im Rahmen der wirtschaftlichen Nutzbarmachung der mechanischen Kräfte dargetan, und man wird in den Erörterungen der vorstehenden Abschnitte die inneren Gründe dieser Gestaltung der Dinge suchen dürfen. Die kleineren Triebwerke an den durch Talsperren in ihrem Abfluß regulierten Gebirgsbächen sind, mit den vervollkommneten Maschinen der neueren Technik ausgestattet, von neuem erblüht und ein bedeutendes Glied des Wirtschaftslebens ihrer engeren Bezirke geworden. Die großen Wasserkräfte an dem oberen und mittleren Laufe der Flüsse haben zum Teil den Sammelpunkt elektrochemischer Gewerbe und größerer Bevölkerungsansiedlungen gebildet. Aber daneben liegt die wirtschaftliche Bedeutung der Wasserkraftverwertung in der Fernleitung und in der Auflösung der nutzbar gemachten großen Kraftmengen in viele kleine Einheiten. Die neuzeitlichen Überlandzentralen sind hierfür die ausgeprägteste Erscheinungsform. Diese elektrisch übertragenen Wasserkräfte sind bei den gegenwärtigen Kohlenpreisen nicht so sehr berufen, den Großdampfanlagen den Platz streitig zu machen. Aber auf dem Gebiet der Verteilung der Elektrizität für den kleinen Werkstätten- und Lichtbetrieb, wie dies heute in den städtischen Elektrizitätswerken geschieht, da ist die Wasserkraft wettbewerbfähig mit der kleinen Einzelwärmemaschine. Eine große Zahl von solchen im Betriebe befindlichen Unternehmungen tut dies dar.

Ein neues Feld der Betätigung der Wasserkräfte ist in den letzten Jahren durch den hydroelektrischen Betrieb der Bahnen im Gebirge hinzugekommen. Italien, die Schweiz und Amerika haben solche Bahnanlagen. Die Wiedergewinnung elektrischer Kraft bei der Talfahrt ist dabei ein wesentlicher Vorteil des elektrischen Betriebes gegenüber dem mit Dampflokomotiven, bei denen diese Schwerkraftausnutzung verloren geht. Diese Frage der Verwertung der Wasserkräfte für den Bahnbetrieb steht gegenwärtig im Vordergrunde der Forschung und praktischen Ausbildung.

Es soll hier nicht unerwähnt gelassen werden, ohne auf diesen bedeutsamen Gegenstand näher einzugehen, wie die Sorge um die Erschöpfung der Kohlenvorräte der Erde aller Orten der Wasserkraft-

nutzung eine erhöhte Dringlichkeit zu verleihen beginnt. Hat doch in England eine staatliche Kommission nach eingehender Prüfung berechnet, daß die dortigen Kohlenlager schon in 400 Jahren aufgebraucht sein werden.

Fördernd in diese Entwicklung der Wasserkraftnutzung, wenigstens in den Staaten des europäischen Festlandes, hat der sozialpolitische Gedanke eingegriffen, das Kleingewerbe durch Lieferung billiger mechanischer Kraft widerstandsfähig gegenüber den Großunternehmungen zu machen und für die Dezentralisierung der Industrie zu sorgen. Die über das Land gleichmäßig ausgebreiteten Wasserkräfte geben für die Verwirklichung solcher Pläne die beste Unterlage und dies um so mehr, als sie vielfach gerade in gewerblich noch wenig entwickelten Bezirken erschlossen werden können.

Einen weiteren bemerkenswerten Schritt kennzeichnen die neuesten, auf die Verstaatlichung der Wasserkräfte gerichteten Bestrebungen. Die Schweiz schreitet auf dieser Bahn lebhaft voran. Hier, wo sich auf engem Bezirk eine so außerordentliche Fülle von rentabel erschließbaren Wasserkräften vereinigt findet, sieht man eine Gefahr darin, daß die private Ausnutzung sich ihrer zum Schaden des Allgemeinwohls bemächtigt und daß die Ausfuhr der Wasserkräfte und der daraus erzielten Renten ins Ausland die Entwicklung des heimatlichen Landes schädigt. Aber auch in anderen Ländern wird diese Frage lebhaft erörtert und hat zum Teil schon praktische Formen angenommen, wie in Schweden, Italien und Österreich.

Statistik der Wasserkräfte.

Es kann nicht fehlen, daß bei dem regen Interesse für die Wasserkraftfrage mit großer Betonung Zahlen über Zahlen von gewinnbaren Kräften in allen Erdteilen genannt werden, die die Bedeutung des zu erschließenden Wirtschaftsfeldes dartun sollen. Diese Zahlen gehen von Blatt zu Blatt, meist ohne auf ihren Wert geprüft zu werden. Allein alle diese Angaben sind doch bestenfalls fast immer nur das Ergebnis roher Schätzungen. Man ersieht dies schon aus den vielfachen Widersprüchen, denen man in der Literatur begegnet.

Bei der Aufrechnung der Wasserkräfte eines Landes ist eine große Vorsicht und Sachkenntnis erforderlich. Denn nicht nur der Wasserabfluß und das natürlich gegebene Gefälle des Wasserlaufs ist maß-

gebend. Die Untersuchung führt — wie schon früher erörtert — oft zu anderem und viel günstigerem Abschluß, wenn statt eines oberflächlichen Wurfes eine richtige technische Würdigung erfolgt. Es soll daher davon Abstand genommen werden, hier solche Aufzählungen mutmaßlicher Wasserkraftschätze vorzuführen. Einige Angaben finden sich in den nachstehenden Abschnitten.

Selbst über die tatsächlich nutzbar gemachten Wasserkräfte haben wir nur unsichere Unterlagen. Campbell Swinton hat sich der Mühe unterzogen, eine Statistik der Wasserkraft-Elektrizitätswerke in einer Reihe Länder aufzustellen, die die folgende Tabelle 30 wiedergibt[1]). Wenn sie zwar voller Genauigkeit entbehrt, so gestattet sie immerhin eine gewisse Übersicht.

Tabelle 30 über die in öffentlichen Elektrizitätswerken nutzbar gemachten Wasserkräfte.

	PS.	Bemerkungen.
Vereinigte Staaten von Nordamerika	527 500	Nach der amtl. Statistik vom 30. 6. 1902: 1378 öff. elektr. Zentralen mit 381 000 PS.[2]).
Kanada	228 300	
Mexiko	18 500	
Venezuela . . .	1 200	
Brasilien	800	
Japan	3 500	
Schweiz	133 300	Nach Wyssling und Zschokke rd. 161 000 PS.
Frankreich . . .	161 400	
Deutschland . . .	81 100	Nach der Statistik der E. T. Z. vom 1. 4. 1904 rd. 105 200 PS.
Österreich . . .	16 000	
Schweden . . .	71 000	
Rußland	10 000	
Italien	210 000	
Indien	7 100	
Südafrika . . .	2 100	
Großbritannien . .	11 900	

Campbell Swinton schätzt die Gesamtstärke der nutzbar gemachten hydro-elektrischen Kräfte der Erde auf 2 Mill. PS., zu etwa dem gleichen Ergebnis kommt Esson[3]).

1) Scientific American Supplement vom 3. 12. 1904.

2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1903 S. 1578.

3) Vortrag vor der Civil and Mechanical Engineers Society. The Engineering Magazine 1905. S. auch die Aufstellungen von Gradenwitz in Engineering, Jan. 1903, und Ristori in Engin. 1904.

Größere Bedeutung als eine Zusammenstellung unsicherer Zahlen mag eine allgemeine Darstellung des gegenwärtigen Standes der Wasserkraftfrage in den Hauptkulturländern der Erde haben. Diesem Zwecke sollen die nachstehenden Ausführungen dienen. Es kann sich hier nicht darum handeln, ein genaues Bild in allen Einzelheiten zu geben. Das würde für jedes Land eine besondere Abhandlung erfordern. Es soll vielmehr nur der Versuch gemacht werden, die leitenden Gesichtspunkte und kennzeichnenden Bestrebungen der Länder in großen Zügen zusammenzufassen.

Zuvor sei aber mit kurzen Worten noch einiger Länder gedacht, die teils weil in ihnen die natürlich gegebenen Verhältnisse wenig günstig sind, teils weil die gesamte übrige Wirtschaftslage dies bedingt hat, in der Verwertung der Wasserkräfte noch wenig hervorgetreten sind, in neuerer Zeit aber doch dieser Bewegung ihre Aufmerksamkeit zuwenden.

Länder mit beginnender Entwicklung der Wasserkraftnutzung.

Rußland beschäftigt sich u. a. mit dem Plane der Kraftausnutzung der Wolchow-Stromschnellen für den elektrischen Schiffszug auf den Ladoga-Kanälen[1]). Die verfügbare Kraft wird zu 30000 PS. berechnet, wovon 25000 PS. zur industriellen Belebung des umliegenden Gebietes und zur Übertragung nach St. Petersburg (etwa 120 km) sowohl für Staatszwecke wie für den Verkauf an Private verwandt werden sollen, während 5000 PS. zum Zwecke des Schiffszuges erforderlich sind. Dieser Plan wird von seiten der Regierung verfolgt, da es nach den Untersuchungen von Timonoff zweckmäßig erscheint, die Kraftausnutzung der Wolchow-Schnellen, sowie die Errichtung des mechanischen Schleppzuges auf den Ladoga-Kanälen in den Händen der Regierung zu vereinigen. Zur Nutzbarmachung der Wolchow-Stromschnellen ist ein Wehr von 10 m Höhe geplant. Das Wehr, das zur Zeit des Eisganges und Hochwassers niedergelegt wird, soll mit einem Überlauf und mit Schleusen zum Durchlassen von Schiffen versehen werden. Es ist am Ende der Stromschnellen vorgesehen. Ein vom Eisgange geschützter Werkkanal führt zur Kraftzentrale.

1) Graftio u. v. Karaulow, Ausnutzung der Wasserkräfte an kanalisierten Flüssen. IX. internat. Schiff.-Kongr. 1902.

Ein älteres russisches Wasser-Kraftwerk ist das der »Kraenholm-Manufaktur-Narva« bei St. Petersburg, das im Jahre 1860 mit einer Turbine von 900 PS. begründet und nach und nach auf rd. 8000 PS. ausgebaut wurde.

Nach neueren Nachrichten beabsichtigt die russische Eisenbahnverwaltung die Imatra-Fälle — am Nordrande des Ladoga-Sees vom Fluße Wuoxen gebildet — für den Betrieb elektrischer Bahnen auszunutzen.

In Finnland ist die Wasserkraftanlage der Holzschleiferei in Kotka zu erwähnen. Das Werk ist nahe am Meere mit einem Flußgefälle von 8 m erbaut; die Gesamtleistung beträgt 3800 PS. Diese Ausführung ist deswegen bemerkenswert, weil das ganze Gebäude einschließlich der Turbinenkammern mittels genieteter schmiedeeiserner Säulen auf der felsigen Untergrabensohle gegründet ist. Die Anlage ist eine eigenartig nordische[1]).

In Europa sind hier weiterhin Spanien und Griechenland zu nennen. In ersterem Lande nutzt u. a. die Stadt Saragossa zwei Wasserkräfte von 4000 und 6000 PS., die auf 45 und 80 km mit 30000 Volt Spannung übertragen werden. Die Sociedad Española de Minas betreibt eine Anlage von 1050 PS., die mit einem Gefälle von 205 m arbeitet. Die erste Wasserkraftanlage in Griechenland ist von einer englischen Gesellschaft errichtet worden. Diese nutzt die von den Abhängen des Parnaß und Helikon abfließenden Gewässer, um mit einem Fall von 8—9 m etwa 200 PS. zu gewinnen[2]). Die Kraft dient nach Fernübertragung auf 13 km zum Pumpenbetriebe. In Rumänien wird in dem Elektrizitätswerk Sinaia eine Kraft von 1400 PS. aus einem Gefälle von 17 m gewonnen und elektrisch in der Stadt Sinaia verteilt. Ein Teil der Energie wird mit 11000 V. Spannung auf 35—45 km zur Nutzbarmachung in Petroleumfeldern übertragen. Die Stadt Sofia in Bulgarien hat neuerdings eine Wasserkraftanlage von 2000 PS. Leistung errichtet.

Im fernen Osten ist Japan das Land lebhafter Entwicklung auch auf dem Gebiet der Wasserkraftnutzung. Mehr als 100 elektrische Kraftwerke sind in Japan in Betrieb und davon werden etwa die Hälfte mit Wasserkraft getrieben. Der ungefähre Vorrat an Wasserkräften des Reichs wird auf 1000000 PS. geschätzt, die in schnellem Ausbau mittels

1) Wagenbach, Turbinenanlagen.

2) Engin. Magazine 1904 u. Elektr. Zeitschr. 1903.

Fernübertragung begriffen sind. Eine der neuesten Anlagen ist das Kraftwerk zu Kyoto. Der hierzu gehörige Biwasee-Kanal liefert nicht nur das erforderliche Kraftwasser, sondern er stellt auch eine Schiffahrtsverbindung zwischen dem Biwasee und der Osaka-Bai her. Daneben spendet dieser 11 km lange Kanal Wasser für Bewässerung von Reisfeldern. Die Kraftanlage kann auf 4400 PS. ausgebaut werden, zurzeit ist eine Leistungsfähigkeit von 2300 PS. vorhanden. Die Gefällhöhe beträgt 33 m. Die Kraft wird elektrisch für Eisenbahn, Kraft und gewerbliche Zwecke auf große Entfernung übertragen[1]).

In Vorderindien ist für den Betrieb der Goldminen in Kolar und für Städteversorgung mit Kraft und Licht eine Wasserkraft von 10000 PS. mit einem Gefälle von 120 m erschlossen worden. Die Kraftanlage liegt an den Wasserfällen des Cauvery und die Fernleitung erfolgt bis auf 150 km.

Im Hochgebirge des Himalaya soll in der Nähe von Srinagar, der Hauptstadt Kaschmirs, das Gefälle des Ihelum, eines Nebenflusses des Indus, in einem elektrischen Kraftwerk von 20000 PS. ausgenutzt werden. Das nutzbare Gefälle wird 133 m betragen. Das Kaschmirtal selbst liegt fast 1600 m über dem Meeresspiegel. Ähnlich, wie man es bei amerikanischen Anlagen unter schwierigen Gelände- und Transportverhältnissen getan hat, müßten hier die Maschinen, um sie an ihren Bestimmungsort bringen zu können, in kleine Sätze von je 100 KW. Leistung zerlegt werden. Denn das einzige zur Verfügung stehende Beförderungsmittel sind die zweirädrigen Ochsenkarren der Bergbewohner. Als Kraftmaschinen sind Hochdruck-Tangentialräder in Aussicht genommen[2]). Die Anlage, deren Erweiterungsfähigkeit bis auf 100000 PS. angegeben wird, soll dem Bahnbetriebe, dem Baggerbetriebe auf dem Ihelumflusse, gewerblichen Zwecken und der Städtebeleuchtung dienen.

Schließlich soll hier noch einer neuerdings viel erörterten Wasserkraft in Afrika gedacht werden — es sind dies die Viktoria-Wasserfälle am Zambesi. Livingstone soll als der erste Europäer dieses »achte Weltwunder« im Jahre 1854 gesehen haben. Seitdem ist das Land von vielen

1) Scientific American Supplement 1905.

2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1906 S. 67. Nähere Mitteilungen über Wasserkraftanlagen in Ostindien s. Zeitschr. f. d. gesamte Turbinenwesen 1906 S. 124 und The Engineer 1906 S. 36.

besucht worden. Reisende werden in Zukunft, meint die englische Zeitschrift »The Engineer«[1]), anstatt zu den Wundern des Niagara zu eilen, die Viktoria-Fälle am Zambesi aufsuchen. Die Fallhöhe dieser eigenartigen Naturerscheinung beträgt 120 m. Über die gewinnbaren Wasserkräfte gehen z. Z. die Schätzungen noch außerordentlich auseinander. Prof. Ayrton nimmt die rohen Wasserkräfte zu 600000 PS., in min. sogar auf 300000 PS. an[2]). Danach würde die Bedeutung dieser Fälle weit hinter der vom Niagara zurückstehen.

Für die Ausnutzung der Viktoriafälle ist bereits einem Syndikat die Konzession auf 75 Jahre erteilt worden. Es sind Entwürfe aufgestellt worden, nach denen die hydroelektrische Energie auf 400 km im Umkreise verteilt werden soll für städtische Zwecke, für die Verwertung in Kohlenfeldern sowie in Gold- und Kupferminen. Das Land wird gegenwärtig durch den Bau einer Eisenbahn aufgeschlossen und eine kühn angelegte eiserne Bogenbrücke überspannt den Fluß unmittelbar unterhalb der Wasserfälle. Eine bedeutende Entwicklung werden hier sicherlich die nächsten Jahrzehnte bringen[3]).

2. Der heutige Stand der Wasserkraftnutzung in den Kulturländern.

A. Die Schweiz.

Die Schweiz ist im eigentlichen Sinne das Land der »weißen Kohle«. Der Fremde, der um die Zeit der Schneeschmelze in die Täler eindringt, ist überwältigt von der Masse des von den Bergen niederströmenden Wassers. Und der Ingenieur, dessen Blick gewohnt ist, die Schönheiten der Natur auch unter praktischen Gesichtspunkten zu betrachten, übersieht bald die reiche Möglichkeit, diese Wasservoräte für mechanische Arbeitsleistungen nutzbar zu machen. Die eigenartigen Gestaltungen des Geländes und der Gebirgsformationen bedeuten für ihn tausend Gelegenheiten, den natürlichen Wasserfluß durch künstliche Maßnahmen zu fassen und in seiner Wirksamkeit zu vervielfachen. Und das ist nicht der Blick eines Idealisten, der sich in schönen Träumen nutzlos verliert —

1) 1905.
2) Engineering 22. 9. 1905; E. T. Z. 1905 S. 1162.
3) Le Génie Civil, Jan. 1906.

der Gang der tatsächlichen Entwicklung gibt ihm Recht. Nirgends steht wohl wie in der Schweiz auf engem Raume die Verwertung der Wasserkräfte in so hoher Blüte. Es bedarf dessen nicht, daß man mit eifrigem Bemühen bis an die Stätten der Kraftgewinnung — oft verborgen und schwer zugänglich — vordringt, dem Beobachter wird an vielen äußeren Zeichen diese Regsamkeit kund. Das Land ist überspannt mit einem engen Netz von Drähten, die die Energie verteilen, und allüberall findet man elektrische Beleuchtung, die ihre Speisung aus den Wasserkräften erhält. Dieses Land, obwohl bar an Kohlenlagern, ist auf diesem wesentlichen Kulturgebiet anderen kohlenbesitzenden Ländern weit voraus. Der elektrische Betrieb der Eisenbahnen ist hier zur Wirklichkeit geworden. Ein eigenartiges Beispiel bietet hierfür die Jungfraubahn. Aus den Gewässern, die die Jungfrau von ihren schneebedeckten Kuppen herunter sendet, wird im Tale bei Lauterbrunnen Kraft erzeugt, die die nach der Spitze der Jungfrau führende Zahnradbahn elektrisch antreibt. So gelangt die niedergehende Energie im engen Kreislauf nutzbringend zu ihrem Ursprungsort zurück.

Es ist naturgemäß, daß aus solch günstigen Vorbedingungen die Industrie reichen Segen zieht und in lebhafter Entwicklung begriffen ist.

Wasserwirtschaftliche Verhältnisse.

Das Hochgebirge steht zum Mittellande im Gegensatz dadurch, daß jenes im Sommer, in der Zeit der Schneeschmelze, Überfluß an Wasser hat und kleineren Zufluß in der Frostperiode des Winters. Ein ungleichmäßiger Wasserabfluß ist darum auch in den aus den Gletschern gespeisten Hochgebirgsflüssen vorhanden und die Kraftleistung eine wechselnde. Aber doch sind die Gletscher große Kraftspeicher und überdies hat die Schweiz in ihrer natürlichen Seenkette am nördlichen Abfall gegen den Rhein hin vorzügliche Ausgleichbecken, so daß sich unterhalb der Ausflüsse dieser Seen große und gleichmäßige Wasserkräfte erschließen lassen. Nach den Angaben von Gelpke[1]) sind durch die Juragewässer-Korrektion und die künstliche Regelung der Abflüsse des Brienzer, Thuner, Bieler, Vierwaldstätter, Zuger und Züricher Sees die größten Hochwasser des Rheins unterhalb Basel um 1000—1500 cbm sekundlich zurückgegangen und seine niederen Beharrungszustände um

1) Die Ausdehnung der Großschiffahrt auf dem Rhein von Straßburg nach Basel.

50—100 cbm sekundlich gehoben. Es ist ohne weiteres klar, welchen Einfluß eine solche Ausgleichung für die Wasserkraftausnutzung auf der Rheinstrecke vom Bodensee bis Basel, wo das Gefälle ein außerordentlich starkes ist, haben muß. Dabei lassen sich, wie neuere Untersuchungen ergeben haben, durch weitere technisch und wirtschaftlich wohl durchführbare Regulierungen dieser Seen, im besonderen des Bodensees, die Abflußmengen noch wesentlich beeinflussen.

Auch für künstliche Staubecken sind in der Schweiz nicht ungünstige Vorbedingungen vorhanden, wie neuere Anlagen erweisen. Es haben sich Gebirgskessel — an sich ohne Zuflußgebiet — durch künstliche Wasserzuführung in Ausgleichseen verwandeln lassen. Ein Beispiel hierfür bildet der Stauweiher des Elektrizitätswerkes Kubel[1]). An anderen Stellen würden Gebirgsdurchbrüche Gelegenheit dazu bieten, wie etwa in der Aareschlucht bei Meiringen. Man erkennt in den Wandungen dieser überaus engen Schlucht glatte, eigenartig gehöhlte Flächen, entstanden durch Auswaschung, und es täuscht wohl nicht, daß am Ende des etwa 1500 m langen Durchbruchs an den Berghängen sich noch der ehemalige Absturz der Aare in das untere Tal darstellt. Die Fallhöhe mag 80—100 m betragen haben. Oberhalb der Schlucht liegt ein weiter Kessel, und es wäre technisch ein leichtes und mit geringen Kosten zu bewirken, durch eine Staumauer von nur wenigen Metern Länge einen bedeutenden See zu bilden. Allerdings würde die oberhalb gelegene Ortschaft dadurch zum Teil unter Wasser gesetzt. Es könnte hier eine ansehnliche Wasserkraftanlage geschaffen werden. Aber es ist für die von Fremden viel besuchte Aareschlucht die Frage, ob der Wert der nutzbar gemachten Wasserkraft größer wäre als die Einnahmen, die heute diese Schlucht als Sehenswürdigkeit einbringt. Die gleiche Erwägung gilt übrigens für manche schweizerischen Wasserfälle.

Wenn man sich die Formationen, die großen Niederschlagshöhen der Schweiz, die zentrale Lage des Landes inmitten des europäischen Wirtschaftlebens und die Regsamkeit der Bevölkerung für gewerbliche Betätigung und den dadurch hervorgerufenen Bedarf an Kraft und Licht vergegenwärtigt, so nimmt es nicht wunder, wenn dort z. Z. so viele Wasserkraftwerke entstehen und Pläne zu sehr bedeutenden Kraftausnutzungen sich neuerdings geradezu häufen.

---

1) Siehe S. 47.

Prof. Zschokke hat nach dem Stande von 1903 die in der Schweiz tatsächlich ausgebeuteten Wasserkräfte nach ihren Mittelwerten ermittelt und wie folgt zusammengestellt. Die Genauigkeit der Tabelle 31 soll 5 bis 10 v. H. betragen.

Tab. 31. Nutzbar gemachte Wasserkräfte der Schweiz. 1903.

Anlagen für Erzeugung von Genußmitteln	10070 PS.
Für die technische Industrie	35170 »
Für Maschinenfabriken	6440 »
Für Erzeugung elektrischer Energie	161800 »
Für chemische Industrie, Papierfabrikation u. a. m. . . .	57320 »
Zus.	270800 PS.

Die Statistik von Prof. Wyssling[1]) über die öffentlichen Elektrizitätswerke der Schweiz, die mit dem Jahre 1901 abschließt, umfaßt die Elektrizitätszwerke, welche elektrischen Strom an Dritte abgeben, die elektrischen Bahnen und die elektrischen Kraftübertragungen, die zwar nur den Besitzern dienen, aber deren Leitungen über öffentliche Grundflächen gezogen sind. Eigentliche Privatanlagen z. B. für Fabriken sind hierbei nicht berücksichtigt.

Danach sind im ganzen 300 Unternehmungen für elektrische Stromabgabe vorhanden. Die Gesamtleistungen aller dieser Kraftanlagen ist rd. 110000 KW. oder rd. 160000 PS. Von dieser Leistung entfallen 95 v. H. auf die Ausnutzung der Wasserkräfte, 5 v. H. auf Wärmekraftmaschinen. Von den 110000 KW. verteilen sich

13 v. H. auf den elektrischen Bahnbetrieb,
23 v. H. auf die Zwecke der Elektrochemie,
20—25 v. H. auf den Motorenbetrieb der Industrie,
40—45 v. H. auf die Beleuchtung.

Hinsichtlich der Größe der Kraftwerke ist von Wyssling gefunden worden, daß die mittlere Leistungsfähigkeit etwa 500 KW. beträgt. Elf Werke über 3000 KW. liefern die Hälfte der Gesamtleistung, 21 Werke haben 1000—3000 KW. Stärke, 12 Werke 500—1000 KW., 67 Werke 100—500 KW. und 85 Werke weisen kleinere Leistungen auf. Die große Zahl der kleinen Werke hängt damit zusammen, daß viele Anlagen billig

1) Schweiz. Bauzeitg. 1902.

erschlossene Wasserkräfte für die Beleuchtung kleiner Orte ausnutzen. Die neuere Richtung der schweizerischen Wasserkraftunternehmen geht aber auf die Konzentrierung großer Kräfte aus.

Das schweizerische hydrometrische Bureau hat begonnen, in allen Landesteilen Wasserführung und Gefälle der Flüsse aufzunehmen und wird in der Lage sein, in wenigen Jahren ein genaues Bild der ausbauwürdigen Wasserkräfte zu geben, das eine Art Wasserkataster darstellen wird. Die gegenwärtigen Angaben über die Gesamtgröße der schweizerischen Wasserkräfte sind sehr schwankend. Bemerkt sei, daß sie nach neuesten Untersuchungen bis auf 1 ½ Mill. PS. geschätzt werden.

Nach den Mitteilungen von Prof. Zschokke beträgt die mittlere jährliche Niederschlagshöhe der Schweiz 1250 mm, die geringste Niederschlagshöhe ist 800 mm, die höchste 2000 mm. Die mittlere Regenmenge einiger Orte ist:

Interlaken	1150 mm	
Zürich	1187 »	(736—1988 mm)
Bern	984 »	
St. Gallen	1367 »	
Einsiedeln	1611 »	
Lugano	1632 »	

Im Durchschnitt fließen aus der Schweiz in der Sekunde nach Abzug einer Verdunstungsmenge von 10 v. H. rd. 150 cbm Wasser ab.

Die schweizerische Hochebene, wo die Industrie ihren Hauptsitz hat, liegt durchschnittlich 400 m über Meer, während die bewohnten Gegenden bis 1200 m über Meer hinaufreichen. Der Rhein verläßt das Land bei 248 m Höhe, die Rhone bei 350 m und der Tessin bei 197 m. Hieraus ergibt sich, wie Zschokke hervorhebt, daß die oben angegebenen Wassermengen in den bewohnten Gegenden mit bedeutendem Gefälle abfließen und große Wasserkräfte liefern[1]).

Schweizerische Wasserkraftanlagen.

Außerordentlich mannigfach sind die Aufgaben, die sich hier dem Ingenieur darbieten. Es handelt sich meist nicht um die einfache Fassung des fließenden Wassers, sondern um die Ersinnung geschickter, mit den Mitteln der neueren Technik zu gestaltender Anordnungen, um die vor-

1) Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1903.

teilhafteste Kraftausbeute zu finden. Die hydraulische Technik ist darum in der Schweiz in hohem Maße ausgebildet. Im besonderen gilt dies von den Kraftanlagen des Hochgebirges, die eine Gefällhöhe bis zu 950 m (Vouvry)[1]) ausnutzen. Die Stollen- und Hochdruckleitungen des Kraftwassers mit allen ihren eigenartigen Sicherheitsmaßregeln für den Betrieb und die Konstruktion der Turbinen sind Spezialgebiete der schweizerischen Industrie und erregen die Aufmerksamkeit aller derer, denen der Ausbau von Wasserkraftwerken obliegt. Die Niederdruckwerke, unterhalb der Seenkette gelegen, mit Gefällen bis etwa 12 m, sind beachtenswert wegen ihrer bedeutenden Stärke [Chèvres an der Rhone 12—15000 PS.[2]), Rheinfelden 16800 PS.]. Das Kraftverteilungssystem weist eine Reihe von Überlandzentralen mit 40—50 km Fernleitung und hohen Spannungen auf. Es ist z. B. ein fast zusammenhängendes Verteilungsnetz von Martigny über Lausanne, Freiburg, Biel; dann längs der Aare und Limmat bis nach Zürich vorhanden.

Es würde zu weit führen, in diesem kurzen Abriß auf die reiche Zahl der schweizerischen Kraftwerke im einzelnen einzugehen. Aber es mag angebracht sein, um ein Bild der lebhaften Entwicklung zu geben, die größeren und bemerkenswerten der in den letzten Jahren entstandenen Werke aufzuführen, wie dies in nachstehender Tabelle 32 geschehen ist.

Tabelle 32. Neuere Wasserkraftwerke in der Schweiz.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Verwendung K. = Kraft, L. = Licht, Ü.-Z. = Überlandzentrale.	Bemerkungen
		Niederdruckwerke.		
Chèvres (Rhone) . . .	4,5—8,5	12—15 000	Kraft und Licht.	Der Stadt Genf gehörig.
La Coulouvrenière . .	1,7—3,7	3 800	K. u. Wasserhebung.	Der Stadt Genf gehörig. Kraftwasserverteilung[3]).
Rheinfelden (Rhein) .	2,8—4,9	16 800	Elektrochemische Zwecke, K. u. L.	Auf der Grenzstrecke zwischen Baden u. der Schweiz liegend.
Wangen a. d. Aare .	6,3—9,3	10 500	K. u. L.	Deutsch. Bauz. 1903; Z. d. Ver. deutsch. Ing. 1906.
Betznau (Aare)	3,3—5,0	9—12 000	Ü.-Z. für K. u. L.	Fernübertragung mit 8000 und 20000 Volt.
Wynau (Aare)	3,0—4,0	3 000	K. u. L.	Verteilung mit 8000 Volt.
Schaffhausen	4,2—4,8	2 700	K. u. L.	Erweiterung beschlossen. S. Abschn. III A.

1) Le Génie Civil 1902. 2) Siehe Abb. 25 u. 45. 3) Siehe S. 95.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Verwendung K. = Kraft, L. = Licht, Ü.-Z. = Überlandzentrale.	Bemerkungen
Rathausen bei Luzern	4,1—4,8	1 500	K. u. L.	Fernleitung auf 5 km.
Zufikon—Bremgarten (Reuß)	5,1—5,3	1 300	K. u. L.	Fernleitung auf 18 km.
Zürich	1,5—3,0	1 200	Wasserhebg., K.u.L.	
Hagneck	5,8—9,0	7 500	K. u. L.	Am Bieler See. 5 Turbinen zu 1500 PS.
Interlaken	3,50	600	K. u. L.	Am Thuner See.
Hochdruckwerke.				
Val de Travers	230 in 4 Gefällstufen	10 000	Wasserhebung, K. u. L.	Bei Neuchatel.
Werk am Lac de Joux	237	6 000	Ü.-Z. 13 500 Volt.	Kraftwerke La Dernier und Montcherand. Erweiterung auf 10 000 PS. vorgesehen.
Kanderwerk bei Spiez	65	6 000	Bahnzwecke.	
Kubel	94	5 000	K. u. L.	Mit Ausgleichbecken von 1,7 Mill. cbm Stauinhalt. Verteilung auf 42 km mit 10000 Volt. Mit Dampfaushilfe von 1000 PS.
St. Maurice-Lausanne	33	5 000	Versorgg. von Lausanne mit elektrischer Energie.	Übertragung auf 56 km mit bis 22 500 Volt. Insgesamt 15000 PS. vorhanden.
Linthal	248	1 000	Ü.-Z. für K. u. L.	Fernleitung mit 5200 Volt auf einige Kilometer.
Neuhausen	18—20	4 000	Elektrochemische Zwecke.	
Lauterbrunn	40	3 150	K. für die Jungfraubahn.	Mit Sauggasaushilfe. Erweiterung um 9000 PS. gesichert.
Sihlwerk	77	1 600	K. u. L.	Mit 600 bis 900 PS. Dampfaushilfe.
Montbovon (Romont)	57—64	5 600	Elektr. Energie.	
Davos	100	250	L.	
Bellinzona	550	150	Werkstättenzwecke der Gotthardbahn.	
Luzern—Engelberg	300	8 000	Ü.-Z. für K. u. L.	Auf 16000 PS. erweiterungsfähig. Fernl. mit 6000 Volt auf 4,5 km u. mit 27000 Volt auf 28 km nach Luzern und 15 Ortschaften.
Vernayaz (Rhone)	500	6 000	Elektrochemische Zwecke.	6 Turbinen, je 1000 PS.
Vouvry	950	6 700	Im wesentlichen Beleuchtung.	Die Turbinen werden aus dem 1416 m ü. d. M. liegenden Taney-See gespeist. Das höchste bisher genutzte Gefälle. Es stehen im ganzen 27000 PS. während jährlich 1000 Stunden zur Verfügung.

Dazu möge erläuternd bemerkt werden, daß sich die Wasserkraftunternehmungen in zwei Gruppen unterscheiden lassen:

1. Kraftwerke mit kleinem Gefälle und großer Wassermenge, bei denen das Wasser in offenem Kanal zufließt.
2. Kraftwerke mit großem Gefälle und geringer Wassermenge (in max. 10 cbm in der Sek.), bei denen das Wasser mittels eiserner Rohrleitungen den Turbinen zugeführt wird.

Ein Unternehmen möge hier besondere Erwähnung finden, nicht sowohl, weil es technisch in besonderer Weise bemerkenswert ist, sondern wegen der wirtschaftlichen Tendenz, die es verfolgt. Es ist dies das Gewerbegebäude und Wasserkraftwerk in Luzern. Der Hauptzweck dieses der Korporationsgemeinde Luzern gehörigen Baues geht dahin, den Kleingewerbetreibenden Werkstättenräume und Kraft zu möglichst billigen Bedingungen zur Verfügung zu stellen. In Berücksichtigung der Tatsache, daß die finanziellen Kräfte des mittleren Arbeiters sich eben nur bis zur Beschaffung des Betriebsgeschirrs und der Rohstoffe erstreken, hoffte man dadurch den kleinen Mann gegen die großen Sondergeschäfte mit Maschinenbetrieb besser wettbewerbfähig zu machen. Die Korporationsgemeinde wurde Besitzerin der Wasserkraft der Reuß mit im ganzen 180 PS. Ein Teil der Anlage, welchem 3 Turbinen zu je 30 PS. zur Verfügung stehen, befindet sich seit 1889 im Betriebe. Das im Zusammenhange mit dem Kraftwerk errichtete Gewerbegebäude hat eine Grundfläche von 770 qm und bietet in 3 Stockwerken 1500 qm Werkstättenraum. Durch alle Räume des Gebäudes sind Transmissionen geführt, an denen die Mieter die gewünschte Kraft von der Welle abziehen können. Werkstätten werden auf beliebige Dauer an jedermann abgegeben zu 6—8 Mk. jährlich für 1 qm Grundfläche. Der Preis für die Kraft von der Welle ab beträgt für 1 PS. 208 Mk., für $^1/_2$ PS. 144 Mk., für $^1/_4$ PS. 80 Mk. jährlich bei täglich 13—14stündiger Benutzung. Der Mieter ist außerdem verpflichtet, für Beleuchtung sich des vom Werk hergestellten elektrischen Lichtes zu bedienen. Gegenwärtig ist das Gewerbegebäude mit 28 Meistern und ungefähr 90 Arbeitern und Lehrlingen besetzt; es sind darunter Drechsler, Mechaniker, Feinschleifer, Schreiner, Schlosser, Diamantschleifer, Metzger, Buchdrucker und so ziemlich alle Arten von Gewerben zu finden. Da die Baukosten dieses gemeinnützigen Werkes 352000 Mk. und die Jahreseinnahmen etwa

16000 Mk. betragen, so ist eine Verzinsung von $4\frac{1}{2}$ v. H. vorhanden[1]). Ähnliche Unternehmungen hat Bern und Schaffhausen zu verzeichnen.

Aber auch in Deutschland haben wir an der Wupper nicht unähnliche Verhältnisse. Hier findet man durch Wasser betriebene Schleifereien, in denen verschiedene Besitzer ihrem Gewerbe nachgehen, derart, daß dem einzelnen nur etwa ein Schleifstein und das Anrecht auf die zugehörige Wasserkraft und ein entsprechender Anteil an Grund und Boden zusteht.

Ein sozialwirtschaftlich bemerkenswertes Unternehmen sind ferner die beiden Wasserkraftwerke von La Dernier und Montcherand in der Nähe des Neuchateller Sees mit zusammen 6000 PS. Diese Werke versorgen etwa ein Gebiet von 1300 qkm mit 92000 Einwohnern in 212 schweizerischen Gemeinden mit Kraft und Licht. Das Hochspannungsnetz umfaßt etwa 600 km. Es ist dies ein interessantes Bild gewerblicher Entwicklung auf dem platten Lande. Da diese kleinen Gemeinden — die kleinsten haben nicht viel mehr als 200, die größte etwa 5000 Einwohner — finanziell zu wenig leistungsfähig waren, sind die Kraftwerke von einer Gesellschaft mit staatlicher Unterstützung ins Leben gerufen worden. Die Konzession ist bis zum Jahre 1932 erteilt; mit diesem Zeitpunkt hat der Staat das Recht des Rückkaufs. Die angeschlossenen Gemeinden haben sich durch Verträge auf gleiche Zeit das Recht des Bezuges der elektrischen Energie für ihre Bezirke gesichert. Die Gesellschaft hat sämtliche elektrischen Einrichtungen selbst hergestellt und hält sie in Betrieb. Den Gemeinden ist das spätere Ankaufsrecht der Leitungsnetze vorbehalten.

Über den Betrieb und die Betriebsergebnisse einiger schweizerischer Werke s. Abschn. IV B.

Von größeren geplanten Kraftanlagen der Schweiz sei u. a. der Entwurf des Etzel- und Wäggitalwerkes mit zus. 100000 PS. hervorgehoben. Das Etzelwerk soll in der Nähe des Züricher Sees an der Sihl mit einer künstlichen Aufstauung von 97 Mill. cbm Wasser errichtet werden. Das nutzbare Gefälle wird zu 480 m angegeben. Die gewinnbaren Kräfte sollen 31000 PS. in 24stündigem Betrieb betragen; die Kosten sind zu rd. 10 Mill. Mk. veranschlagt. Die Stadt Zürich plant an der Albula ein Kraftwerk von 24000 PS., das ein Gefälle von 142 m ausnutzen soll.

1) Das Gewerbegebäude und Wasserwerk am Mühlenplatz in Luzern. Broschüre des Werkes.

Ein Elektrizitätswerk bei Meiringen soll 50000 PS., die Ableitung des Zuger in den Vierwaldstätter See ebenfalls 50000 PS. und das Silser-Bergeller Werk 43000 PS. liefern. Weiterhin ist seitens der schweizerischen und badischen Regierung die Genehmigung zur Ausnutzung von 48300 PS. am Rhein bei Laufenburg erteilt. Die gesamten nutzbaren Wasserkräfte des Rheins vom Bodensee bis Basel werden auf etwa 150000 PS. geschätzt[1]). Es mögen diese wenigen herausgegriffenen Beispiele genügen, um die Bedeutung der Wasserkraftausnutzung für die zukünftige Entwicklung der Schweiz darzutun. Die Frage des elektrischen Bahnbetriebes auf den Staatsbahnen aus dem Wasserreichtum des Landes ist in den letzten Jahren wiederholt von den schweizerischen Ingenieuren geprüft worden. Eine Aufrechnung hat u. a. Thormann für den elektrischen Betrieb des Netzes der ehemaligen schweizerischen Nordostbahn aufgestellt. Die Bahnlänge beträgt 779 km und die erforderliche normale Leistung in den Kraftwerken wird zu 16000 PS. berechnet. Im höchsten Falle können vorübergehend 84000 PS. gebraucht werden. In Betracht käme für diese Leistung das vorerwähnte Etzelwerk, bei dem die Wasseraufspeicherung im Sammelbecken gestatten würde, vorübergehend in gewissen Grenzen einen beliebig großen Höchstbedarf zu decken[2]).

Wirtschaftspolitische Verhältnisse der Wasserkraftnutzung.

Die weiteste Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit haben seit einigen Jahren die Bestrebungen auf Verstaatlichung der schweizerischen Wasserkräfte auf sich gelenkt, und diese Frage wird gegenwärtig im Volke wie in der Presse des Landes auf das lebhafteste erörtert. Es mag deshalb angezeigt erscheinen, diese Bewegung hier kurz zu verfolgen.

Die Ausbeute der Wasserkräfte geschieht in der Schweiz gegenwärtig meist durch Private. Die staatliche Genehmigung durch den Bund oder die Kantone wird auf unbegrenzte Zeit oder eine bestimmte Reihe von Jahren gegen kleinen Wasserzins erteilt. Dabei hat in der Festsetzung der Einzelheiten große Willkür Platz gegriffen, weil ein einheitliches Wasserrecht fehlt. Auf dem Gebiete des Elektrizitätsrechtes besteht seit

1) Näheres in Abschn. V, 2, H.

2) Schweiz. Bauzeitg. 1902. Bericht der schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb s. Schweiz. Bauzeitg. Dez. 1905 und Elektr. Zeitschr. 1906 S. 296.

1903 ein Bundesgesetz, das u. a. den Bundesrat ermächtigt, den Eigentümern elektrischer Anlagen und den Beziehern elektrischer Energie das Recht der Enteignung für Herstellung elektrischer Anlagen zu erteilen.

Das Wasserrecht soll geregelt werden in einem schweizerischen Zivilgesetzbuch, dessen Vorentwurf z. Z. fertiggestellt ist. Derselbe enthält u. a. wasserrechtliche Bestimmungen über die Erteilung von Wasserrechtskonzessionen an öffentlichen Gewässern durch die Kantone und den Bund.[1])

Die Bestrebungen auf Verstaatlichung der Wasserkräfte setzten etwa um das Jahr 1890 ein, nachdem es gelungen war, die Aufgabe der elektrischen Kraftfernleitung in praktisch brauchbarer Form zu lösen und infolgedessen die vorerwähnten großen Kraftwerke nacheinander entstanden. Man erblickte in dem regellosen Genehmigungsverfahren eine Schädigung der Allgemeinheit, indem darauf hingewiesen wurde, daß die systemlose Ausbeute der Wasservorräte durch Private zu einer Vergeudung dieses natürlichen Schatzes führen müsse. Und tatsächlich haben neuere Untersuchungen erwiesen, daß durch kleinliche Anschauungen unbedeutende Kraftanlagen geschaffen sind, die die Möglichkeit eines großzügigen Ausbaues an vielen Stellen für alle Zeiten vernichtet haben. Professor Affolter schreibt u. a.: »Wir kennen zwei Zentralen, die heute ohne Dampfaushilfe 4700 Pferdestärken liefern, aber 5000 Pferdekräfte mehr erzeugen könnten, wenn sie je räumlich nur wenige hundert Meter flußabwärts gebaut worden wären. Ohne Aufgabe der bestehenden Zentralen können jene 5000 Pferdekräfte nicht mehr eingebracht werden, sie sind verbaut«. Man versteht es, wenn solche Vorkommnisse zu der Einsicht führten, daß die Nutzung der Wasserkräfte durch den Staat sich als diejenige Lösung darbiete, die allein den Wert dieser Naturkräfte ungeschmälert der Volksgemeinschaft erhalten könne. Das gab Anlaß zu mancherlei Forschungen und Erörterungen, vor allem ist dieser Bewegung zu danken, daß sie zur besseren Kenntnis der in der Schweiz vorhandenen Wasserkräfte geführt hat.

Die Regelung der Hauptfrage — der Verstaatlichung — ist bisher allerdings an den mancherlei widerstrebenden Interessen gescheitert, wenn schon die von den Kantonen und Gemeinden errichteten Wasserkraft- und Elektrizitätsanlagen sich in den letzten Jahren vermehrt haben.

1) Näheres u. a. Klöti, Die Neuordnung des Wasser- und Elektrizitätsrechtes in der Schweiz. Zürich 1905.

In allerneuster Zeit — seit dem Jahre 1902 — ist der Verstaatlichungsgedanke wieder lebhafter in Fluß gekommen, nachdem die gesteigerte Wirtschaftslage, besonders auch die Einführung des elektrischen Betriebes auf Vollbahnen immer mehr auf die Nutzbarmachung der Wasserkräfte hingedrängt hatte.

Zwei nationale Momente sind es, die neben der grundsätzlichen Auffassung, daß die Wasserkräfte Gemeingut sind, heute zu gunsten der Verstaatlichung in die Wagschale geworfen werden. Man erinnert daran, daß gegenwärtig für etwa 60 Mill. Mk. Brenn- und Leuchtstoffe, in erster Linie Kohlen, in das Land mehr ein- als ausgeführt werden und berechnet, daß diese Summe etwa der rohen Kraftleistung von 1 Mill. Pferdestärken entspricht, die aus den heimischen Wasservorräten gewonnen werden können. Ferner weist man darauf hin, daß an dem Ausbau der neueren großen Wasserkraftanlagen ausländisches Geld in hohem Maße beteiligt ist, so daß die Erträge aus der Wassernutzung in Form von Zinsen nach dem Auslande wandern. Weiterhin drohe dem Lande durch die Privatunternehmungen eine Gefahr insofern, als eine reichliche Ausfuhr elektrischer Kraft nach dem Auslande stattfinde. Es ist bemerkenswert, wie dieser letztere Gedanke bei neueren Anlagen schon Berücksichtigung findet. Da sich die große Kraft des Elektrizitätswerkes an der Maira im Engadin — 43000 PS. — in den benachbarten Gebirgsbezirken nicht ohne weiteres absetzen läßt, so soll — obwohl die Möglichkeit vorliegt, die erzeugte Energie nach Italien zu leiten — dieses Kraftwerk stufenweise ausgebaut werden, um für die Entwicklung des Heimatlandes Zeit zu gewinnen und so die Kraft der Schweiz selbst nutzbar zu machen.

Man ist sich heute in der Schweiz in der Hauptsache darüber einig, daß von Bundeswegen etwas geschehen müsse. Nur über die Art des Vorgehens sind die Meinungen noch geteilt. Es werden zwei Lösungen der Frage erörtert:

1. Übertragung der Hoheit über sämtliche Gewässer an den Bund unter Neuregelung des Genehmigungsverfahrens — vor allem Festsetzung einer kurzen Dauer (30 bis 50 Jahre) für die Genehmigung.
2. Monopolisierung der Wasserkräfte durch den Bund.

Es scheint, daß z. Z. der Gedanke, dem Bunde die Hoheit über die Gewässer zu übertragen, leichter Annahme finden könnte als das Monopol[1]).

1) O. Schär, Die Verstaatlichung der schweiz. Wasserkräfte, und Klöti a. a. O. Kurzen geschichtlichen Überblick über die Bewegung s. Schweiz. Bauztg. März 1906.

In den Wasserrechtskonzessionen sollen Bestimmungen aufgenommen werden, die es dem Staat ermöglichen, die Wasserkraftwerke nach Verlauf einer gewissen Zeit an sich zu ziehen. Alle Unternehmungen, welche sich mit der Erzeugung, Fernleitung und Abgabe elektrischer Energie befassen, sollen zudem unter Staatsaufsicht gestellt werden.

Alles dies sind Erörterungen und Vorschläge mehr oder weniger privater Natur. Es mag aber auch interessieren, den neuesten behördlichen Schritt in der Wasserkraftfrage der Schweiz hier verzeichnet zu sehen. Unter dem Titel »Die Verwertung inländischer Wasserkräfte im Ausland« hat der schweizerische Bundesrat unter dem 4. Dezember 1905 an die Bundesversammlung eine Botschaft gerichtet, aus deren sehr bemerkenswerten Ausführungen ein Auszug hier Platz finden möge. Die Botschaft führt aus: »Die Schweiz besitzt als Bergland eine Summe von leicht verwertbaren Wasserkräften, welche einen erheblichen Teil des Nationalvermögens ausmachen und deren Wert bedeutend gestiegen ist, seitdem die Elektrizität ihren Siegeszug durch die Welt angetreten und die Technik der Umwandlung der Wasserkraft in elektrische Energie einen ungeheuren Aufschwung genommen hat. Durch diesen Fortschritt erreichen wir in der Schweiz, daß in einem sehr bedeutenden Maße die Steinkohle, welche wir aus dem Auslande beziehen müssen, als Krafterzeugerin durch die einheimische Wasserkraft ersetzt werden kann. So sehr wir für den Absatz der Erzeugnisse unserer Industrie auf das Ausland angewiesen sind, so sehr ist es umgekehrt zu begrüßen, daß in Ansehung der Beschaffung des wichtigsten allgemeinen Produktionsmittels die Abhängigkeit der Schweiz vom Ausland abnimmt. Bereits ist denn auch die Überzeugung, daß wir in unseren Wasserkräften ein unschätzbares Gut besitzen und zu demselben mehr als bisher Sorge tragen müssen, in das Volksbewußtsein eingedrungen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, daß sich auch die Landesbehörden mehr als bisher mit der Angelegenheit der schweizerischen Wasserkräfte beschäftigen. Wir haben in erster Linie zu sorgen, daß, wenn die Schweiz zum elektrischen Betrieb ihrer Bahnen, die sich bereits zum größten Teil in den Händen des Staates befinden, übergehen wird, die nötige Wasserkraft zu diesem Behufe zur Verfügung steht. Wir haben in zweiter Linie zu bewirken, daß das Gefälle unserer Flüsse der einheimischen Produktion und dem einheimischen Konsum gesichert wird. Wir haben endlich auf Mittel und Wege zu sinnen, damit eine rationelle Verwendung der einheimischen

Wasserkräfte im Interesse des Volksganzen stattfinde, damit ferner einer Verschleuderung dieses Gemeingutes vorgebeugt werde und damit sich, drittens, der Staat für den Rückerwerb desselben, soweit es vergeben ist oder noch vergeben wird, nicht ausschließlich auf die sehr teure Zwangsenteignung angewiesen sehe.«

Nach weiteren Ausführungen über die Bedeutung der Wasserkräfte als öffentliches und Nationalgut und über die Notwendigkeit, dieses Gut der Produktion der Schweiz zu sichern, werden als Bundesbeschluß eine Reihe von Bestimmungen vorgeschlagen, deren wesentlichste die folgende ist:

Die Ableitung von elektrischer Energie, welche ganz oder zum Teil aus inländischer Wasserkraft gewonnen wird, ins Ausland bedarf der bundesrätlichen Bewilligung; Staatsverträge sind vorbehalten. Über dieses Bewilligungsrecht sollen dann für die spätere Handhabung noch nähere Festsetzungen getroffen werden.

Aus den übrigen Darlegungen der Botschaft geht noch hervor, daß der schweizerische Bundesrat dem elektrischen Betriebe der Bahnen aus Wasserkräften und der Frage der Verstaatlichung oder der Staatshoheit über die Wasserkräfte z. Z. seine ganze Aufmerksamkeit widmet.

Der schweizerische Nationalrat und Ständerat haben diesen Gesetzentwurf im Frühjahr 1906 mit großer Mehrheit angenommen und gleichzeitig an den Bundesrat die Forderung gestellt, zum Zwecke der allseitigen Wahrung der volkswirtschaftlichen und nationalen Interessen bei der Gewinnung und Verwertung der Wasserkräfte Vorschläge zu den nötigen Verfassungsgrundlagen zu unterbreiten. Dadurch ist die gesetzliche Regelung auch der übrigen oben berührten Fragen in die Wege geleitet[1]).

B. Österreich-Ungarn.

Die Wasserkraftverhältnisse in Österreich-Ungarn werden nach der Bodengestaltung und dem Reichtum an Gewässern als günstig bezeichnet. Es kommen Gefälle und Abflußmengen in allen Abstufungen vor. Darum hat auch in diesem Lande die Nutzbarmachung der Wasserkräfte in neuerer Zeit lebhaft eingesetzt, und man ist zu einer intensiveren Ausnutzung durch vervollkommnete Maschinen übergegangen. Wie

1) Schweiz. Bauztg., März 1906.

auch anderwärts, bemerkt W. Müller[1]), wurden in Österreich die Vorzüge der Turbinen gegenüber den Wasserrädern für gewerbliche Anlagen nur nach und nach erkannt und führten in der ersten Zeit zu großen Kämpfen mit dem Wasserrad. Heute besitzt das Land einige anerkannte Turbinenfabriken.

Neuere wasserwirtschaftliche Unternehmungen und Voruntersuchungen.

Veranlaßt durch die Bekämpfung der Hochwassergefahren ist man in einigen Bezirken des Landes der Verwertung der Wasserkräfte nähergetreten. Man hat in Böhmen im Quellgebiet der Görlitzer Neiße sechs Sammelbecken von zus. 6,33 Mill. cbm Stauinhalt geschaffen, die neben dem Hochwasserschutz der Aufspeicherung von Nutzwasser für die unterhalb gelegenen Triebwerke dienen (siehe Tabelle 33). Nach

Tabelle 33. Talsperrenbauten im Gebiet der Görlitzer Neiße bei Reichenberg in Böhmen.

Nr.	Talsperre-bezeichnung	Jahr der Bau-ausführung	Nieder-schlags-gebiet qkm	Stau-inhalt Mill. cbm	Größte Stau-höhe ü. Tal-sohle m	Größte Höhe der Mauer m	Kronen-länge m	Mauer-masse cbm	Kosten einschl. Grund-erwerb und Ankauf von Gebäuden Kronen	Kosten für 1 cbm Stau-inhalt Heller	
1	Grünwalder Wasser . .	1905/06	26,6	2,7	15,0	20,0	440	42 600	2 559 000	91	im Mittel für die sechs Talsperren 105
2	Harzdorfer Bach . . .	1902/03	15,5	0,63	12,0	19,0	155	16 200	650 000	103	
3	Schwarze Neiße . . .	1902/04	4,1	2,0	14,65	23,15	296	41 000	1 300 000	65	
4	Görsbach . .	1904/05	11,8	0,5	15,5	21,5	250	32 000	1 030 000	126	
5	Voigtsbach .	1904/05	6,9	0,25	10,0	16,0	154	11 500	460 000	184	
6	Mühlscheibe	1904/05	6,7	0,25	14,9	21,5	207	17 200	659 000	264	
	Zusammen		71,6	6,33	—	—	—	160 500	6 658 000		

den Intzeschen Berechnungen[2]) werden z. B. an der schwarzen Neiße 260 PS. für das ganze Jahr gewonnen werden, die Ausnutzung des Grünewalder Beckens wird 800 PS. liefern, jedoch soll sich die Nutzleistung dieser Becken an einzelnen Tagen bis auf 3500 bis 4000 PS. steigern

1) Die Francis-Turbinen.

2) Über die Anlage von Talsperren im Quellgebiet der Görlitzer Neiße.

können. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß in diesen Bezirken die Jahresniederschläge bis 1800 mm Höhe erreichen, so erkennt man den in diesen Gebirgstälern vorhandenen Wasserreichtum, der in dem Becken des Reichenberger Gebietes nur deswegen nicht zur Erschließung erheblicherer Nutzpferdekräfte geführt hat, weil der Stauinhalt im wesentlichen auf den Hochwasserschutz hat eingeschränkt werden müssen.

Mit ähnlichen Plänen zur Milderung der Hochwassergefahren trägt man sich für das Traungebiet, wo das Aufspeicherungsvermögen der Salzkammergutseen verwertet und durch den dadurch herbeigeführten Ausgleich der Abflußmengen der Kraftausbeute nutzbar gemacht werden soll. Veranlassung dazu gaben die großen Hochfluten in den letzten Jahren des abgelaufenen Jahrhunderts, infolge deren durch das staatliche hydrographische Zentralbureau eine wasserwirtschaftliche Untersuchung stattfand.[1]) Das Niederschlagsgebiet des Trauns ist 4276 qkm groß, davon sind 122 qkm Seenfläche. Die Niederschlagshöhe steigt bis zu 2000 mm im Jahr an, während das Quellgebiet bis 900 m ü. M. hinaufgeht. Durch eine Regelung der Seenabflüsse mittels Sperrwerke zum Teil mit ansehnlicher Stauhöhe bis 29 m und Einrichtung eines Wasserstandsnachrichtendienstes sollen die Wassermengen regenreicher Zeit aufgespeichert werden. So würde man z. B. in den Seen oberhalb Gmunden bei dem Hochwasser des Jahres 1899 etwa 116 Mill. cbm haben zurückhalten können, die später von der Industrie hätten verarbeitet werden können. Die Verwirklichung dieser Pläne erscheint z. Z. jedoch noch unsicher.

Wie in diesem Vorgehen bekundet sich auch in anderen Maßnahmen das Interesse der Regierung für eine regere Wasserwirtschaft. Man beabsichtigt ein Wasserkraftkataster einzurichten, um eine genaue Kenntnis zu erhalten, wie große Wasserkräfte in den Alpenländern und in der österreichischen Monarchie überhaupt gewonnen werden können. Man schätzt die Wasserkräfte in den österreichischen Alpen auf 1,7 Mill. PS., davon sollen die größten im Gebiet der Etsch liegen. Zahlreiche Wasserkräfte besitzen auch Dalmatien, Bosnien und die Sudeten.

Die Wasserkräfte Galiziens werden zurzeit infolge Beschluß seines Landtages vom Jahre 1903 einer Untersuchung unterzogen. Das ganze galizische Wassergebiet zerfällt in drei Gruppen. Die erste Gruppe um-

1) Zeitschr. d. öster. Ing.- u. Arch.-Ver. 1905.

Tabelle 34. Neuere Wasserkraftanlagen in Österreich-Ungarn.

Ort	Jahr der Betriebseröffnung	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung: Entfernung km	Kraftübertragung: Spannung Volt	Verwendung	Einheit der Turbinenzahl × PS.	Bemerkungen
Sillwerke der Stadt Innsbruck: ältere Anlage	1899	123 u. 357	3 100	—	—	Elektrizitätswerk der Stadt Innsbruck für Kraft- und Lichtzwecke und Bahnbetrieb.	6 × 2500	Die neuere Anlage hat einen 7 km langen Stollen. Zwei Druckrohre aus Flußstahlblech von 1,25 m Durchm. Zunächst sind eine Rohrleitung und zwei Maschinen fertiggestellt. S. Abb. 11 und 24.
Sillwerke der Stadt Innsbruck: neuere »	1903	182	15 000	8	10 000			
Elektrizitätswerk Bruck a. d. Mur[1])	1904	8,5	2 000	—	5 000	Licht und Kraft für Einzelverteilung in der Stadt Bruck und in der näheren Umgebung.	4 × 675	Die Baukosten für 1 PS. an der Turbine sind 470 Mk., am Schaltbrett 525 Mk. Mit Dampfaushilfe.
Rienzwerke[1])	1903	26,5	2 700	—	5 000	Überlandzentrale für die Versorgung der Stadt Brixen und von 8 Gemeinden u. 4 Bahnhöfen.	4 × 900	Das Verteilungsnetz führt in Freileitungen üb. beträchtliche Höhen u. Tiefen und ist mit Blitzschutzeinrichtungen reichlich versehen.
Malser Heide[1])	1903	32,0	690	—	5 000	Kraft u. Licht für 14 Gemeinden der Malser Heide.	3 × 230	Genossenschaftliche Unternehmung der Gemeinden. Für landwirtschaftliche Betriebe wird die Kraft zu 17 Mk. für die Jahrespferdekraft abgegeben.

Ort	Jahr der Betriebseröffnung	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung: Entfernung km	Kraftübertragung: Spannung Volt	Verwendung	Einheit der Turbinenzahl × PS.	Bemerkungen
Elektrizitätswerk »Feistritzhammer« im Mürztale[1]) .	1904	3,75 bis 5,0	350	4	5 000	Betrieb eines Walzwerkes.	1 × 350 1 × 113	Dreiradturbine auf wagerechter Welle zerlegt in eine Doppel- u. eine einfache Turbine zur Ausnutzung zweier verschiedener Gefälle.
Jajce a. d. Pliva (Bosnien) .	1897	74,5	9 264	—	155	Für elektrochemische Zwecke.	8 × 1000 2 × 632	
Walzwerk Jauerburg (Krain)	—	320	1 600	—	—	Dient zum unmittelbaren Antrieb von Walzenzügen.	1 × 1600 Daneben noch einige kleinere Turbinen.	Peltonrad. Rohrleitung: der obere Teil aus gußeisernen Muffenrohren, der untere Teil aus genieteten Flußeisenrohren.
Kaiserwerke (Nordtirol) . .	1905	320	3 600	—	10 500	Überlandzentrale für Industrie, Betrieb von Kleinmotoren und für Lichtzwecke bei Kufstein.	2 × 1200 2 × 60	Kraftwasserentnahme aus dem Hintersteiner See.
Lend—Gastein[2])	1898	96	7 500	—	—	Für elektrochemische Zwecke.	4 × 1150 5 × 750	
Meran—Bozen[2])	1898	70	7 200	5 u. 30	—	2000 PS. für Licht und Kraft der Städte Meran und Bozen.	6 × 1200	Gemeinsames Unternehmen der Städte Meran u. Bozen. S. Abb. 10.
Matrei (Brennerwerke)[2]) .	1900	82	6 000	—	—	Für elektrochemische Zwecke.	8 × 800	Zurzeit 6 Turbinen aufgestellt.
Rauriser Ache (Salzach) . .	—	130	6 000	—	—	Für elektrochemische Zwecke.	3 × 2000	

1) Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1905 u. 1906. 2) Holz, Wasserkraftverhältnisse.

faßt das Abflußgebiet des Tatra-Hochgebirges, das im Sommer von dem Gebirgsschnee gespeist wird. Die zweite Gruppe erstreckt sich über den übrigen nördlichen Karpathenabhang in das Weichsel-, Dniestr- und Pruthgebiet. Zur dritten Gruppe werden die linksseitigen Nebenflüsse des Dniestr im Hügellande Podolien gezählt.

Bisher liegen die Ergebnisse der Ermittlungen im Dunajec- und Popradgebiete vor, die der ersten Gruppe angehören. Die Gesamtzahl der hier erschließbaren Wasserkräfte ist bei normalem Wasser zu 77000 PS. (an der Turbinenwelle) gefunden worden. Es sind darunter ansehnliche konzentrierte Kräfte bis 13000 PS. vorhanden. Dem gegenüber muß man sich vergegenwärtigen, daß heute die Gesamtnutzung in diesen Gebieten etwa 1000 PS. beträgt. Man hofft, die gewinnbaren Kräfte für Kraft-, Licht- und Bahnbetrieb verwenden zu können, wobei Fernübertragungen auf 100 bis 125 km ins Auge gefaßt sind[1]).

Im Jahre 1899 hat der österreichische Ackerbauminister einen Erlaß herausgehen lassen, wonach Wasserrechte, besonders solche für Elektrizitätswerke grundsätzlich nur auf Zeit verliehen werden sollen, etwa auf 50 bis 60 Jahre. Der Staat will sich damit die Möglichkeit sichern, die Wasserkraftausnutzung späterhin in eigne Verwaltung nehmen zukönnen. Es sei bemerkt, daß in Österreich, wohl beeinflußt durch das kräftige Vorgehen der benachbarten Schweiz, schon jetzt viele Stimmen dafür sprechen, daß der Staat die Wasserkräfte selbst ausbauen soll. Andererseits jedoch fürchtet man, daß dadurch die vorhandene Initiative lahmgelegt wird, indem der Staat langsam und mit großer Vorsicht zu Werke gehen würde.

Der leitende Gedanke bei den Verstaatlichungsbestrebungen ist die Absicht, die elektrische Zugförderung auf den Staatsbahnen einzuführen. Die österreichische Eisenbahnverwaltung studiert schon seit langem diese Frage. Insbesondere in Aussicht genommen sind einige Strecken bei Innsbruck, Salzburg, Triest und Linz, und es sind unter anderem Entwürfe für die Ausnutzung der Wasserkräfte des Salzach- und Innflusses ausgearbeitet worden. An letzterem Flusse ist bei Landeck ein Kraftwerk von 10000 PS. mit 70 m Nutzgefälle geplant und der Verwirklichung nahegebracht worden. Dieses Werk ist für den elektrischen Betrieb der Arlbergbahn bestimmt.

---

1) Österreich. Wochenschr. f. d. öff. Baud. 1906 S. 154.

Die staatlichen Untersuchungen zur Ausnutzung der Wasserkräfte beim Bau der neuen österreichischen Wasserstraßen sind in den Abschnitten III E und IV C erörtert worden.

Auch auf rechtlichem Gebiet ist in Österreich die Ausnutzung der Wasserkräfte insofern gefördert worden, als man in der Frage der Benutzung fremden Eigentums für elektrische Kraftleitungen vor einigen Jahren den Weg gesetzlicher Regelung beschritten hat.

Österreichische Wasserkraftanlagen.

In der Fachpresse finden sich nur wenig Veröffentlichungen über neuere österreichische Wasserkraftanlagen. In der vorstehenden Tab. 34 sind einige der größeren bekannt gewordenen Werke zusammengestellt. Bemerkt möge noch werden, daß Entwürfe u. a. vorliegen für ein Kraftwerk am Teplitzsee (Traungebiet) für 900 PS. mit einem Gefälle von 360 m und bei Feldkirch (Vorarlberg) für 2400 PS. mit 600 PS. Dampfaushilfe. Das letztere Werk soll eine Überlandzentrale für Kraft und Licht werden.

C. Italien.

Die Geschichte berichtet, daß die Wasserwirtschaft in Oberitalien schon frühzeitig im Mittelalter eine große Bedeutung erlangt hatte. Kanäle, die der Schiffahrt oder Bewässerung dienten, bildeten ein ausgebreitetes Netz und schufen Quellen des Reichtums für die Landwirtschaft und den Handel. Die Stadt Mailand nahm auf dieser wirtschaftlichen Grundlage eine bevorzugte Stellung in der Handelswelt ein, und in dieser Zeit gehörte Oberitalien zu den reichsten Ländern Europas.

Das Bemerkenswerteste dieser italienschen Wasserwirtschaft war nach Semenza[1]) ihr nationales Gepräge. Es hatte sich hier eine Art hydro-technische Schule herausgebildet, die in Leonardo da Vinci ihren Meister erblickte und eine Reihe anerkannter Männer zu den Ihrigen zählte.

Eine solche Charakteristik tritt mit Ausnahme etwa der Ausbildung der Fernleitungen (s. S. 108) auf dem neuzeitlichen Gebiet der Wasserkraftnutzung in Italien nicht hervor. Hier ist der Einfluß des Auslandes

1) Les installations hydro-électriques de la Haute-Italie. Mém. Soc. Ing. Civ. de France. 1905.

— vor allem der Deutschlands, der Schweiz und Amerikas — bemerkbar geworden, bis allerdings in neuester Zeit sich eine Wandlung gezeigt hat. Im Turbinenbau haben sich einige Firmen der italienischen Industrie eine anerkannte Stellung geschaffen, so daß heute nur noch selten eine Turbine außer Landes gekauft wird.

Entwicklung der Wasserkraftnutzung.

Die ersten elektrischen Kraftübertragungen Italiens gehen bis auf die Jahre 1887/88 zurück, während die erste Lichtverteilungsanlage schon im Jahre 1883 von der Societa Edison in Mailand eingerichtet wurde. Sie soll die erste derartige Unternehmung in Europa gewesen sein. Das erste hydro-elektrische Werk erhielt im Jahre 1889 Genua, wo eine Wasserkraft in drei Stufen ausgenutzt wurde[1]). Im Jahre 1893 entstand bei Rom eine Übertragungsanlage auf 25 km Entfernung mit 5000 Volt Spannung. Aber erst drei Jahre später, 1896, setzte diese Bewegung zur Nutzbarmachung der Wasserkräfte lebhafter ein und nahm ihren Ausgang von der Kraftanlage zu Paderno, von wo 13000 PS. auf 36 km mit 14000 Volt Spannung nach Mailand geleitet wurden. Dieses Unternehmen lenkte damals die Aufmerksamkeit der ganzen elektrotechnischen Welt auf sich, und der Erfolg dieser Anlage leitete den Bau einer Reihe großer Kraftwerke ein, von denen genannt seien: Vizzola, Turin, Cellina und Zogno.

Die gewerbliche Entwicklung Italiens wird heute als eine aufstrebende bezeichnet und man schreibt sie zum wesentlichen der Nutzbarmachung der Wasserkräfte zu. Das Land ist kohlenarm. Während Italien z. B. im Jahre 1904 rd. 6 Mill. t Kohlen aufbrauchte, gewinnt man dort wenig mehr als 300000 t an Brennstoff, und 120 Mill. Mk. gehen für Kohlen jährlich ins Ausland, zum größten Teile nach England. Aber die Wasserkraftverwertung erweist sich nicht nur für die Gewerbe vorteilhaft. Auch die Landwirtschaft Italiens, die einen großen Raum in der Gesamtwirtschaft des Landes einnimmt, zieht davon Nutzen, wenn schon heute die Verwendung mechanischer Kraft in ihren Betrieben noch nicht genügend verbreitet ist. Man hofft auch, den elektrischen Strom zur Erzeugung von Stickstoff aus dem Gehalt der atmosphärischen Luft für Düngungszwecke verwerten zu können.

Die heutige hydro-elektrische Kraftausbeute Oberitaliens wird zu

1) Allgem. Bauztg. 1906 S. 36.

150000 PS. auf einem Gebiet von 800000 qkm angegeben, während die gesamten Wasserkräfte des Landes von Prof. Netti in Neapel auf 5 Mill. PS. geschätzt werden. Nach den statistischen Erhebungen einer eigens hierzu berufenen Kommission sollen die an den Gebirgsflüssen Italiens ausnutzbaren Wasserkräfte 2,64 Mill. PS. betragen und davon auf Norditalien 38,4 v. H., auf Mittelitalien 26 v. H. und auf Süditalien 30 v. H. entfallen. 5,5 v. H. sind in Sizilien und der Rest von 0,1 v. H. auf Sardinien erschließbar. In der Gesamtzahl kommen diese Ermittlungen auch auf etwa 5 Mill. PS.

Aus der Technik im einzelnen ist anzugeben, daß die Übertragungsspannung in kleinen Anlagen zwischen 2000 und 5000 V. liegt und in einigen Werken bis zu 40000 V. als Höchstmaß steigt (Brescia, Brusio, Gromo). Der Turbinenbau vermeidet nach Möglichkeit Turbinen mit senkrechter Achse.

Die Herstellungskosten sollen im großen Durchschnitt für die Einheit im Zentralwerk einschl. Maschinen 480—800 Mk. für 1 PS., der Verkaufspreis der Wasserpferdekraft 180 Mk. für 1 PS. am Verbrauchsort betragen.

Staatliche Förderung der Wasserkraftnutzung.

Der italienische Staat bringt der Ausnutzung der Wasserkräfte reges Interesse entgegen. Im Jahre 1897 lud die Regierung die beiden großen Eisenbahngesellschaften des Landes ein, die Frage des elektrischen Zuges auf Bahnen zu studieren und Pläne auszuarbeiten für einen Versuch im großen Maßstabe. Diese Untersuchungen führten zum hydroelektrischen Betrieb der Valtellina-Bahn (106 km), deren Kraftwerk an der Adda liegt (9000—10000 PS.). Dieses, in der technischen Welt bekannte Werk hat sehr befriedigende Ergebnisse geliefert. Der Staat selbst hat sich eine große Zahl von Wasserrechten — etwa auf 300000 PS. — gesichert, um diese gegebenenfalls für elektrische Zugkraft verwenden zu können. Eine weitere staatliche Förderung fand die Wasserkraftbewegung durch das Gesetz, das die Eigentümer verpflichtet, das Legen elektrischer Leitungen über ihre Grundstücke gegen Entschädigung zu gestatten.

Ein eigenartiges staatliches Vorgehen ist zu bemerken zu gunsten von Neapel. Dieser Stadtgemeinde sind durch ein Gesetz vom Juli 1904 rd. 16000 elektrische Pferdekräfte der Wasserkraft des Volturno für immer und ohne Gegenleistung zur Verfügung gestellt. Zur Nutzbar-

machung dieser Wasserkraft und zur Übertragung nach Neapel gibt der Staat das erforderliche Kapital zu geringem Zinssatz ($3^1/_2$ v. H.) her. Für den Bau und Betrieb des Werkes ist eine selbständige Verwaltung mit besonderen Satzungen geschaffen, die aus staatlichen und städtischen Beamten und sonstigen Personen zusammengesetzt ist. Die Verhältnisse liegen so günstig, daß 1 PS. fürs Jahr bei 12 stündigem Tagesbetrieb nicht mehr als 81 Mk. kosten wird. Am Tage soll die Kraftabgabe ausschließlich zu gunsten der im Gemeindebezirk von Neapel liegenden Industrien erfolgen, in den Nachtstunden kann die überschüssige Kraft für andere Zwecke verwendet werden.

Eine Eigenart der italienischen Wasserkraftausnutzung ist es, daß hier gelungen ist, die Interessen der Wasserkraftverwertung mit der allerdings nur geringen Schiffahrt auf den oberitalienischen Kanälen zu verbinden. Solche Kanäle, die neben der Triebwasserführung der Schiffahrt dienen und mit Schleusen bis 8 m Fallhöhe verbunden sind, finden sich bei den Kraftwerken von Trezzo, Vizzola und Turbigo[1]).

Hydro-elektrische Kraftwerke in Oberitalien.

Die heutige Wasserkraftnutzung Italiens ist in der Hauptsache gekennzeichnet durch die Entwicklung in Oberitalien, und diese hat sich fast ganz im Flußsystem des Po vollzogen, der seinen Wasserzufluß von links aus den schneebedeckten Gipfeln der Alpen und von rechts aus den bewaldeten Apenninen durch eine Reihe schnell abstürzender Nebenflüsse bezieht. Doch sind die rechten Nebenflüsse die weniger wichtigen, indem ihre Wasserführung eine sehr wechselnde ist, während die linksseitigen Zubringer infolge der Speisung aus der Schneeschmelze und aus den oberitalienischen Seen einen guten Ausgleich haben. Von diesen Seen bis zum Po hin sind bedeutende gut nutzbare Gefälle vorhanden; so liegt z. B. der Langen-See 142 m, der Comer See 161 m über der Mündungsstelle am Po. Auch die von den Apenninen nach dem Mittelmeer gehenden Flüsse leiden unter sehr ungleicher Wasserführung.

Es lassen sich in Oberitalien sechs große Wasserkraftgewinnungsstätten unterscheiden, über die die nachstehende Tabelle 35 die wesentlichsten Angaben enthält.

---

1) Zentralbl. d. Bauverw. 1905. H. Keller, Bericht über den X. internat. Schiffahrtskongreß in Mailand, und Allg. Bauztg. 1906 S. 34.

Tabelle 35. Große Wasserkraftanlagen in Oberitalien.

Ort	Jahr der Inbetriebsetzung	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung: Entfernung km	Kraftübertragung: Spannung Volt	Zweck	Bemerkungen
1. Gruppe von Turin	—	—	10 500	bis 90	25 000	Stromversorgung von Turin und einer Reihe von Ortschaften in der Umgebung.	Sechs Einzelwerke von 1500 bis 3000 PS. Leistung. Aushilfsanlage in Turin wegen ungleicher Wasserführung der Bäche. Die sechs Werke arbeiten in ein gemeinsames Netz. Weiterer Ausbau eines Gefälles von 858 m in zwei Stufen im Gange; davon unteres Werk mit 444 m Gefälle und 4800 PS. Leistung fertig. Die Gesamtleistung der Gruppe nach Fertigstellung der im Bau begriffenen Anlagen wird etwa 30 000 PS. betragen.
2. Gruppe von Mailand							
Paderno	1898	30	13 000	30—40	14 000	Versorgung v. Mailand, Monza u. Brienza mit Licht und Kraft für Arbeitsmaschinen und Straßenbahnverkehr.	Mit Dampfaushilfsanlage in Mailand von 13 000 PS.
Zogno (Brembo)*)	1904	58	10 500	»	25 000		*) Näheres siehe Scient. American Supplement, Dez. 1905.
Vigevano . . .	Im Bau	18	5 400	»	25 000		
Trezzo	»	8	13 000	»	—		
3. Gruppe von Vizzola u. Turbigo							
Vizzola	1899	29	20 000	Verteilung auf 2000 qkm Fläche der Umgebung.	11 000	Überlandzentrale für das gewerbliche Gebiet westlich von Mailand am Canal Naviglio Grande.	Vizzola ist heute die größte Zentrale Italiens. Zur Gruppe gehört eine Dampfaushilfe von 6000 PS. in Castellanza. — Das Verteilungsnetz hat eine Gesamtlänge von 370 km; in seinem Gebiet sind 30 000 gewerbliche Arbeiter beschäftigt. — Erweiterung am Poschiavino (Adda) auf schweizerischem Gebiet mit Kraftwerk bei Brusio von 20 000 PS. geplant. Übertragung mit 40 000 Volt auf 130 km.
Turbigo	—	8,2	7 000		—		
Castellanza . .	—	—	6 000		—		
4. Kraftwerk von Cellina[1]) . . .	1905	57	15 600	90	30 000	Stromversorgung von Venedig.	Mit einer Talsperre von 18 m Höhe und Staubecken von 30 000 cbm Inhalt. Ein zweites Gefälle von 50 m, sowie ein drittes, etwas geringeres Gefälle stehen zur Verfügung.
5. Gruppe von Genua	um 1904[2])	350	6 000	bis 20	16 000 bis 25 000	Stromversorgung von Genua u. Umgegend. Nach Durchgang durch die Turbinen dient das Wasser der Trinkwasserversorgung von Genua, wohin es in natürlichem Gefälle fließt.	Mit zwei Talsperren von 37 und 40 m Höhe und 2,4 und 3,4 Mill. cbm Stauinhalt am Nordabhange der Apenninen. Ein Tunnel bringt das Wasser nach dem Südabhange, wo die Ausnützung in drei Stufen erfolgt.
6. Kraftwerk von Morbegno . .	1897	30	6 000	Bahnlänge 106	20 000	Betrieb der Valtellina-Bahn.	Die hohe Spannung wird in den Maschinen unmittelbar erzeugt. — Erweiterung um 3000 bis 4000 PS. geplant.

1) Näheres siehe The Engineer, Febr. 1906.

2) Die älteren Anlagen stammen aus den Jahren 1885 bis 1892.

Von geplanten Wasserkraftunternehmungen in den Apenninen seien noch die in Tabelle 36 verzeichneten Entwürfe kurz erwähnt.

Tabelle 36. Geplante Wasserkraftunternehmungen in den Apenninen.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Bemerkungen
Aveto . . .	750	18 000	Mit 2 Ausgleichbecken von 10 und 60 Mill. cbm Inhalt.
Orba I. . .	550	5 500	Mit je einem Sammelbecken von 8 Mill. cbm Inhalt.
II. . .	90	2 500	
Bormida . .	400	2 400	Mit Sammelbecken von 8 Mill. cbm Inhalt.
Spezia . . .	800	3 200	Mit Becken von 2,5 Mill. cbm Inhalt.

Die vier ersteren Werke mit zus. 28400 PS. Leistungsfähigkeit sollen zur Versorgung von Genua und der Küste dienen, während das Werk für Spezia den dortigen Hafen mit Kraft speisen wird. Diese Kraftwerke sollen am Abhange der Apenninen nach der Küste des Ligurischen Meeres liegen. Das Gebirge fällt hier steil ab und die Flüsse, welche in den Regenzeiten beträchtliche Wassermassen führen und große Mengen Gerölle herabrollen, sind während des Sommers lange Monate hindurch vollständig trocken. Deshalb sollen die Sammelbecken, wie bei der Gruppe von Genua (siehe Tabelle 35), an dem flachen Nordabhange des Gebirges angelegt werden und das Wasser wird durch Stollen der Südseite zugeführt werden. Von einem Wasserschloß wird hier in schnell abfallenden Druckleitungen das Wasser den Turbinen des Kraftwerkes zugeführt.

Neben den in der Tabelle 35 erwähnten großen Werken besteht in Italien eine Reihe von Anlagen bis herab zu einigen tausend PS. Leistung für die Kraft- und Lichtversorgung vieler mittlerer und kleiner Städte, Dörfer, Fabriken und Landhäuser, die sich alle nahe gelegene Wasserkräfte zunutze machen. Es werden dabei zum Teil sehr hohe Gefälle (Gromo 318 m) gefaßt und hohe Spannungen bis 40000 Volt[1]) angewandt, während Übertragungsstrecken bis 70 km vorkommen. Es würde zu weit führen, alle diese Unternehmungen, die im einzelnen mancherlei Interessantes bieten, hier zu erörtern. Als die wesentlichsten

1) Zurzeit die höchste Kraftübertragungsspannung in Europa.

seien erwähnt die Werke der Städte Como (3250 PS., 250 m Gefälle), Lecco (1650 PS., Gefälle 55 m), Verona (1000 PS.), Brescia (2200 PS.), Bergamo (3400 PS.) usw. Für Brescia ist bei Caffaro ein Kraftwerk von 15000 PS. Leistung im Bau begriffen, das ein Gefälle von 250 m nutzbar macht. Die Fernleitung soll auf 54 km erfolgen.

Die außerdem zu hunderten vorkommenden Werke mit Kraftleistungen in verschiedener Größe bis herab zu 10 PS. sind zwar nicht bemerkenswert als Anlagen des Großkapitalisten, sie ermöglichen aber den Kleingewerben die vorteilhafte Ausbeute eines reichen natürlichen Kraftvorrates. Sie sind volkswirtschaftlich von um so höherer Bedeutung, als eine sehr gleichmäßige Verteilung auf der ganzen italienischen Halbinsel vorhanden ist. Man sieht in Italien darum mit großer Hoffnung der weiteren Entwicklung der Wasserkraftausnutzung zum Gedeihen aller Wirtschaftsgebiete entgegen.

D. Frankreich.

Die Ausnutzung der Wasserkräfte wird in Frankreich als eine nationale Aufgabe von großer Bedeutung angesehen. Man weist darauf hin, daß ein großer Teil der in der Industrie benötigten Kohlen vom Auslande bezogen werden muß, so ist z. B. im Jahre 1899 von dem Gesamtverbrauch von 45,2 Mill. t die Einfuhr 13,3 Mill. t gewesen. Loppé[1]) berechnet, daß die Aufschließung von 3 Mill. hydraulischen Pferdekräften erforderlich wäre, um diese Kohleneinfuhr entbehrlich zu machen. Solche Wasserkräfte sind in den Wasserläufen nach mehrfachen Schätzungen reichlich vorhanden und Loppé meint, selbst wenn man nur die Hälfte der erschließbaren 9—10 Mill. Wasser-PS. als nutzbar annimmt, so könnte durch ihre Verwertung Frankreich von der jährlichen Abgabe nach dem Auslande befreit werden. Die nachstehende Tabelle 37 von De La Brosse gibt einen Überblick über Frankreichs Wasserkräfte.

Die Bestrebungen zur Nutzbarmachung der Wasserkräfte bekunden sich in Frankreich nicht nur in Vorschlägen und Plänen, es hat vielmehr ein werktätiges Schaffen lebhaft eingesetzt. Schon heute werden in den Hochgebirgen — in den Bezirken der »houille blanche« — bedeutende Kraftanlagen betrieben, und neue Unternehmungen werden

1) Revue technique 1903 S. 709.

fortwährend ins Leben gerufen. In den Gegenden der »grünen Kohle« — den Mittelgebirgen — findet sich weniger die Möglichkeit für große Werke. Doch haben sich hier kleinere Wasserkräfte für nächstgelegenen Bedarf günstig verwerten lassen. Einige bemerkenswerte Zahlen aus der amtlichen Statistik vom Jahre 1896 über die Wasserkräfte Frankreichs gibt Tab. 38.

Tabelle 37. Frankreichs Wasserkräfte.

Nach einer Schätzung von De la Brosse (1904), zum wesentlichen auf Messungen beruhend.

Departement	Bei Niedrigwasser PS.	Bei Mittelwasser PS.	Bemerkungen
Obersavoyen	100 000	375 000	Ohne die Rhonekräfte.
Savoyen	320 000	650 000	
Isère	350 000	800 000	
Hautes-Alpes	300 000	500 000	
Subpyrenäische und südöstliche Departements außer den vier vorhererwähnten	1 300 000		
11 Departements in Mittelfrankreich und im Osten	900 000		
Die übrigen Departements	1 400 000		
	4 670 000		

Die gesamten nutzbaren Wasserkräfte Frankreichs bei Mittelwasser werden zu 9 bis 10 Mill. PS. angenommen.

Tabelle 38. Statistik der nutzbar gemachten Wasserkräfte in Frankreich vom Jahre 1896[1]).

(Vom Statistischen Amt in Frankreich.)

1.	Länge der für die Industrie und Landwirtschaft nutzbaren Wasserläufe	285 574 km
2.	Anzahl der Dampftriebwerke	49 035
3.	Anzahl der Wassertriebwerke	69 620
4.	Anteil der Wassertriebwerke an allen Triebwerken	59 v. H.
5.	Anzahl der Dampfpferdekräfte	1 024 019 PS.
6.	Anzahl der nutzbar gemachten Wasserpferdekräfte	1 028 807 »
7.	Anzahl der Wassertriebwerke auf je 100 km Wasserlauf	26
8.	Anzahl der durchschnittl. auf 1 km Wasserlauf nutzbar gemachten PS.	3,8
9.	Durchschnittliche Stärke der Wassertriebwerke	14 PS.

1) Génie civil 1896 und Zentralbl. d. Bauverw. 1898 S. 250.

Vor allem setzt man große Hoffnung auf die Übertragung der Wasserkräfte auf große Entfernungen und auf ihre Verwendung für den elektrischen Bahnbetrieb. Und das Wasserkraftwesen Frankreichs kennzeichnet sich schon heute durch ein kühnes Voranschreiten in der Fernleitung. Strecken von 130 km und mehr sind im Departement Aude und in der Dauphiné überwunden worden. Gegenwärtig plant man u. a. 6300 PS. mit einer Hochspannung von 57000 Volt auf eine Länge von 180 km zu übertragen[1]). Es ist das eine Stromspannung und eine Entfernung, die zu den bisher ersten Leistungen in Europa gehören wird, wenn sie überhaupt schon erreicht wurde. Es wird angegeben, daß die mit einer Gefällhöhe von 65 m gewonnene Wasserkraft an zwei je 9 mm starken Kupferdrähten geleitet werden soll — ein gewiß interessantes Unternehmen. Die Kraft wird dem elektrischen Straßenbetrieb dienen.

Wasserkraftverhältnisse im Südosten Frankreichs.

Besondere Anteilnahme wird der Wasserkraftfrage im Bezirk von Grenoble entgegengebracht, und es sei darum der dortigen Entwicklung einige Aufmerksamkeit zugewendet.

In der Umgebung von Grenoble finden sich Gebirgsflüsse, die für die Kraftverwertung nutzbar 50—40000 l/sec. führen und Gefällhöhen von 25 bis mehr als 600 m darbieten. Natürliche oder künstliche Becken zum Aufstau fehlen allerdings, daher ist eine ungleichmäßige Leistung der Werke vorhanden. Diese Wasserkraftunternehmungen im Südosten Frankreichs sind vor allem bemerkenswert in der Mannigfaltigkeit der Mittel, die aufgewendet worden sind, um die Wasserkräfte nutzbar zu machen. Fast jede Anlage hat darin ihre Eigenart. Dort ist die Wassermenge und die Aufnahmefähigkeit der Turbinen bedeutend, hier fällt das hohe Gefälle und die große Umdrehungsgeschwindigkeit der Maschinen auf. Die wasserbaulichen Arbeiten für die Zuführung des Wassers zu den Kraftwerken — in offenen Kanälen, Tunneln und Druckrohrleitungen —, die Stauanlagen u. a. sind mit außerordentlicher Verschiedenheit ihrem Zweck angepaßt. Als bedeutsamstes Niederdruckwerk dieser Gegend, in dem mit schwachem Gefälle und großer Wassermenge eine starke Kraftleistung erzeugt wird, tritt die Anlage von Jonage hervor, die weiter unten ausführlicher beschrieben wird. In Chapareillan

1) Strecke Moutiers (Savoyen)—Lyon. Le Génie Civil 1905.

und Lancey ist die umgekehrte Nutzwirkung vorhanden: kleiner Wasserzufluß und hohes Gefälle (500 bis 600 m). Bei diesen Hochdruckanlagen haben die Druckleitungen — im Durchmesser schwankend von 30 cm bis mehr als 3 m — mit ihren Sicherungen besonderes Interesse.

Die elektrochemische Verwertung der Wasserkräfte steht obenan, sie schließt sich dem ungleichen Wasserzufluß am besten an. Man zählt im eigentlichen Alpengebiet 25 größere hydro-elektrochemische Werke mit 74000 PS. Leistung von 33 derartigen Anlagen, die überhaupt in Frankreich vorhanden sind. Vor allem wird hier Calciumcarbid erzeugt, und diesen Werken ist allerdings eine Krise nicht ganz erspart geblieben. Im übrigen findet der elektrische Strom die mannigfachste Anwendung für Beleuchtung, Zugförderung und Kraftverteilung. Einige Kraftwerke haben sich lediglich einer Betriebsart gewidmet; die meisten dienen aber verschiedenen Verwendungsformen gleichzeitig, um besseren Erfolg zu erzielen als bei einseitiger Betätigung.

Der Unternehmungsgeist in dieser Gegend ist außerordentlich. Man zögert nicht, bedeutende Kapitalien aufzuwenden, um Wasserkräfte von 6000, 8000 oder 10000 PS. zu erschließen, ehe noch eigentlich der Absatz der Kraft gesichert ist, in der guten Hoffnung, daß die fortschreitende wirtschaftliche Entwicklung schon dafür sorgen wird. Und man sieht sich nicht getäuscht, wie die Erfahrung gelehrt hat.

Also: Große Mannigfaltigkeit in der technischen Lösung, eine nicht minder große Verschiedenheit der Anwendungsformen, Kühnheit der Unternehmungen und Zuversicht, daß der Kraftbedarf den erzeugten Leistungen überlegen sein wird — das sind die vier Merkmale, die die hydro-elektrischen Anlagen des französischen Alpengebietes charakterisieren[1]).

Es sei noch mit wenigen Worten auf einige bemerkenswerte Wasserkraftanlagen in diesem Teile Frankreichs eingegangen.

Das Tal der Isère (Rhonegebiet) ist ausgezeichnet durch Kraftanlagen von sehr großem Gefälle. Hier ist die Wiege der neuzeitlichen Wasserverwertungskunst in Frankreich. Als erste entstand im Jahre 1868 die Anlage von Lancey mit 200 m Nutzhöhe. Später wurden hier u. a. drei Werke von 4000 bis 5000 PS. mit einer Gesamtgefällhöhe von 1700 m angelegt, derart, daß auf jedes Werk etwa 500 m entfallen. Sie treiben

1) De La Brosse, Install. Hydro-Électr.

eine Papiermühle und geben Kraft für Licht und Bahnzwecke. Im Tal des Drac (Nebenfluß der Isère) werden die Wasserkräfte auf 100000 PS. geschätzt. Ausgenutzt werden u. a. 5600 PS. zu Champ, 15 km von Grenoble (32 m Gefälle), von wo die Kraft mit 26000 Volt auf 36 km ferngeleitet wird (s. S. 45), ferner 4000 bis 7500 PS. im Kraftwerk zu Avignonet (Wehr von 20 m Höhe, s. S. 33). Die Fernleitung findet auf 100 km mit 26000 Volt Spannung statt. La Romanche, ebenfalls ein Nebenfluß der Isère, hat auf 20 km Länge nicht weniger als 6 Anlagen von 30000—40000 PS. für mechanische, elektrische und elektrochemische Zwecke. Ferner sei hier noch erwähnt das Kraftwerk von Chèdde und das der Bahn von Chamonix an der von den Gletschern gespeisten Arve mit zwei Gefällstufen von 39 bzw. 139 m (s. S. 40). Die Leistung ist 1300 bzw. 10000 PS.

Von größeren französischen Niederdruckwerken ist hervorzuheben das Kraftwerk Jonage der Stadt Lyon an der Rhone, das mit einem Geldaufwande von 36 Mill. Mk. angelegt ist. Durch einen 18,6 m langen Kanal, der zugleich der Bewässerung umliegender Ländereien und der Schiffahrt dient, ist ein Gefälle von 10—12 m gewonnen worden. Vertragsmäßig dürfen der Rhone normal 100 cbm/sek. entnommen werden. Ein Aufstaubecken am Kanal ermöglicht es, die Betriebswassermenge vorübergehend auf 300 cbm/sek. zu erhöhen, womit eine Leistung von 22750 PS. erzielt wird. Es sind acht Turbinen von je 1350 PS. und acht Turbinen von 1500 PS. vorhanden. Die Kraft wird in elektrische Energie umgesetzt und findet für Kraft- und Beleuchtungszwecke Verwendung[1]). Bemerkenswert ist ferner das Elektrizitätswerk von Saut-Mortier im Dep. Jura, das bei 17 m Gefälle rd. 3000 PS. nutzt. Die großen Schwankungen der Wasserführung des Ain-Flusses werden durch ein natürliches Seebecken ausgeglichen. In Zeiten des Niedrigwassers kann dieses Becken um 10 m gesenkt und eine Aufspeicherung von 20 Mill. cbm Wasser gewonnen werden. Für die Holzflößerei ist um das Stauwehr ein Kanal angelegt[2]).

1) Zentralbl. d. Bauverw. 1900.
2) Wagenbach, Francis-Turbinen, und Le Génie Civil 1901.

Tabelle 39. Neuere Wasserkraftanlagen in Frankreich[1]).

Name des Kraftwerkes	Departement	Flußlauf	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung: Entfernung km	Kraftübertragung: Spannung Volt	Verwendung	Bemerkungen
Jonage (Cusset) . .	Rhône	Rhône	10—12	16 000 bis 20 000	Verteilungsnetz hat 330 km Gesamtlänge.	—	Licht- u. Kraftverteilung in der Stadt Lyon.	Betriebskanal 18 km lang (Umleitung der Rhône). Am Kanal Ausgleichweiher von 160 ha Fläche.
Servoz	Haute-Savoie	Arve	39	1300	38 (Bahnlänge)	—	Elektr. Betrieb der Bahn Fayet—Chamonix.	Vier Turbinen zu je 325 PS. Siehe S. 40.
Pontcharra . . .	Isère	Bréda	42	1300 bis 3000	—	10 000	Beleuchtung von Chambery.	
Lancey.	Wie vor.	Lancey	485	4000 bis 5000	43 (Netz)	—	Papierfabrikation, elektrochemische Zwecke, Beleuchtung u. Straßenbahnbetrieb.	In Lancey wurde das erste größere Übertragungsnetz in Frankreich (43 km) eingerichtet.
Rioupéroux . . .	Wie vor.	Romanche	2 Fälle von 35 bis 40 m	7000 bis 8000	—	—	Papierfabrikation.	
Avignonet. . . .	Wie vor.	Drac	18,5 bis 23,5	4000 bis 7500	100	26 000	Kraftübertragung. Bergwerks- u. Straßenbahnbetrieb (Grenoble nach Villard-de-Lans).	Mit massivem Wehr von 20 m Stauhöhe. Der Ausbau ist für 7 Turbinen von je 1750 PS. vorgesehen. Die Übertragung auf 100 km war bei Errichtung des Werkes — 1901 — die längste in Frankreich.
Champ.	Wie vor.	Wie vor.	32	5600	36	26 000	Elektrische Kraftübertragung.	Sechs Turbinen zu je 1320 PS. Siehe S. 45.
Vozère	—	Vozère	43	1800	80	20 000	Kraftübertragung nach Limoges.	
Entraygues . . .	Var	Argens	15—20	3000	58	28 000	Kraft- u. Lichtversorgung von Toulon und Umgegend.	Mit 500 m langer Druckrohrleitung aus Eisenbeton. Le Génie Civil 1906.
Bournillon. . . .	Isère	—	98	4000	—	—	Kraft- u. Lichtversorgung von Vienne.	Vergrößerung auf etwa das Doppelte geplant.
Clermont-Ferrand .	Puy-de-Dôme	Sioule	32	5000	27	20 000	Kraft- u. Lichtverteilung.	Sechs Turbinen zu je 1200 PS.

Elektrochemische Wasserkraftwerke der französischen Alpenregion.

				(Genutzte Leistung)			Erzeugnis	
Bellegrade . . .	Ain	—	—	600	—	—	Calciumcarbid.	
Pont-du-Risse . .	Haute-Savoie	Giffre	71	6 000	—	—	Wie vor.	Es stehen bis 9000 PS. zur Verfügung. Ausbau auf 8 Turbinen von je 1100 PS. geplant.
Chèdde	»	Arve	139	10 000	—	—	Wie vor. Chlorate.	Siehe S. 40.
La Praz	Savoie	Arc	—	8 000	—	—	Wie vor. Aluminium.	
Saint-Michel . . .	»	»	—	12 000	—	—	Carbid. Aluminium. Chlorate.	
Saint-Jean	»	»	—	8 000	—	—	Chlorate.	
Epierre	»	»	—	1 200	—	—	Carbid.	
Montgirod	»	Isère	—	2 600	—	—	Chlore und Soda.	
Briançon	»	»	—	3 000	—	—	Carbid.	
La Bathie	»	»	—	2 200	—	—	Carbid. Carborund.	
Chailles	»	Guiers	—	1 800	—	—	Carbid.	
Saint-Béron . . .	»	»	—	1 800	—	—	Wie vor.	
Cernon (Chapareillan)	Isère	Cernon	620	300 bis 1 500	—	—	Wie vor. Beleuchtung.	Die Anlage ist bemerkenswert wegen der außerordentlichen Gefällhöhe — der größten Druckhöhe in Frankreich.
Froges	»	Froges	—	600	—	—	Wie vor.	
Livet	»	Romanche	60	10 000	—	—	?	
Les Clavaux . . .	»	»	—	5 000	—	—	Natrium.	
Séchilienne . . .	»	»	—	1 200	—	—	Carbid.	

1) Zum Teil nach De La Brosse, Installations Hydro-Électriques.

Die Wassserkraftverhältnisse im Zentrum, Westen und Norden Frankreichs.

Im zentralen Frankreich (Puy de Dôme) hat die Frage der Wasserkraftnutzung neuerdings erhöhtes Interesse gewonnen. Man kann sich dort zwar nicht in Vergleich stellen mit den reichen Hilfsquellen der »Houille blanche«. Denn z. B. der Fluß Allier führt in trockner Zeit nur wenig mehr als 7 cbm/sek., und auch die anderen Flüsse haben im Sommer sehr geringe Wasserführung, und Gefällhöhen von mehr als 100 m sind selten. Aber doch bietet sich dem Geschick des Ingenieurs manche günstige Gelegenheit zur Betätigung. Das Flußgebiet der Loire ist schon jetzt Gegenstand mancher bedeutenden Wasserkraftnutzung geworden. Ebenso besitzt das Flußgebiet der Dordogne beachtenswerte Kraftquellen. Hier ist zu erwähnen ein Kraftwerk von 1800 PS. an der Vozère (Gefälle 43 m), dessen Kraft mit 20000 Volt auf 80 km Entfernung nach Limoges übertragen wird. Die in den Pyrenäen nutzbar gemachten Wasserkräfte werden auf 40000 PS. beziffert.

Der Norden Frankreichs gilt als wenig begünstigt für die hydraulische Kraftnutzung. Wasserfälle sind dort selten zu finden, und diejenigen, die vorhanden sind, sind wegen des geringen Gefälles im allgemeinen kostspielig zu fassen. Neuerdings sind aber auch hier einige bemerkenswerte Anlagen entstanden, u. a. das Kraftwerk Mazarin in Mézières (Maas)[1]).

Die Tabelle 39 gibt eine Übersicht über die bedeutenderen Wasserkraftanlagen Frankreichs. Einige Mitteilungen über Tarife und den Betrieb französischer hydro-elektrischer Werke findet man in dem mehrfach erwähnten Buche von De La Brosse.

Staatliche Förderung der Wasserkraftausnutzung und der Kongreß de la Houille Blanche in Grenoble.

Ungeachtet des außerordentlichen Aufschwunges, den die Verwertung der Wasserkräfte genommen, halten die französischen Ingenieure ihrem Lande vor, daß noch die richtige Initiative auf diesem Wirtschaftsgebiet fehle. Die Fachzeitschriften heben hervor, daß die Landwirtschaft eine gewisse Schwerfälligkeit gegen die Neuerungen des elektrischen Betriebes zeige, obwohl doch gerade der Landmann darin Erleichterungen

1) Le Génie Civil, Dez. 1905.

finden könne, um sich von menschlichen Hülfskräften zu entlasten. Und es ist lehrreich, dem Gedankengange der französischen Ingenieure zu zu folgen, denn man erhält daraus einen Einblick in die inneren wirtschaftlichen Verhältnisse des Landes. Ingenieur Salvador[1]) betont, wie die Anteilnahme an den Fortschritten der Kultur den Landmann anregen würde und wie die Einführung des Maschinenbetriebes auf seiner Farm mancherlei Ersparnisse gegenüber der Verwendung menschlicher Arbeitskraft einbringen würde. Sein Einkommen könne gehoben werden und er wird Geld frei bekommen für andere Zwecke des Lebens. Der Gebrauch der elektrischen Beleuchtung im Hause und in den Wirtschaftsräumen würde auf sein Gemüt aufmunternd wirken und ihn den Annehmlichkeiten näher bringen, die dem Städter zur Verfügung stehen. Man könne hoffen, durch solchen intensiveren Betrieb die schwierige Lage der Landwirtschaft, in die sie durch den Wettbewerb des billiger produzierenden Auslandes gebracht ist, besser zu überwinden. Man ersieht, es sind im wesentlichen dieselben Gründe, die auch bei uns für die Verwendung des elektrischen Stromes in der Landwirtschaft sprechen. Der französische Staat fördert die elektrische Nutzbarmachung der Wasserkräfte für landwirtschaftliche Zwecke durch Geldunterstützungen an Gemeinden und Genossenschaften und im besonderen verfolgt diese Absicht ein Erlaß des Landwirtschaftsministers vom 6. Januar 1904, in dem er die Fürsorge der Verwaltungsbehörden auf diesen Gegenstand hinlenkt und zur Bildung von landwirtschaftlichen Genossenschaften für die Verwertung der Wasserkräfte anregt[2]).

Aber man ist in Frankreich auch bemüht, die Wasserkräfte für das Kleingewerbe nutzbar zu machen, um den kleinen Mann, der in den großen Massenbetrieben aufzugehen droht, in seiner Selbständigkeit zu erhalten. Man hofft dadurch ferner den Kleinbesitz und die Pflege der heimatlichen Scholle zu heben und der Abwanderung aus dem platten Lande nach den Großstädten entgegen zu wirken. Der Staat ist auch hier ein eifriger Förderer solcher Bestrebungen.

Ein Hindernis für die ausgedehntere Nutzbarmachung der Wasserkräfte erblickt man in den widrigen rechtlichen und wirtschaftlichen Interessen. Eine den neuen Anschauungen und wirtschaftlichen Forderungen

1) Nouvelles annales de la construction 1904 S. 189.

2) Génie civil 1904 S. 207. Dem Erlaß sind Rentabilitätsberechnungen beigegeben. S. auch La Revue technique 1904 S. 576.

angepaßte gesetzliche Regelung der Wasserkraftfrage ist daher in Frankreich in den letzten Jahren lebhaft erörtert und eine Reihe von Vorschlägen sind gemacht worden. Im Jahre 1900 hat die französische Regierung einen Gesetzentwurf aufgestellt, dessen Wesen in dem Bestreben nach Verstaatlichung der Wasserkräfte besteht. Der Entwurf unterscheidet zwischen Kraftwerken mit 100 PS. und mehr Leistung und solchen von weniger als 100 PS. Jene werden als »öffentliche«, diese als »private« Kraftanlagen bezeichnet. Die Werke mit mehr als 100 PS. Leistung sollen Staatseigentum sein und dem Staate soll das Recht zustehen, ihre Nutzung für die Industrie und öffentliche Zwecke auf bestimmte Dauer zu genehmigen. Nach Ablauf dieser Zeit sollen die Wasserkraftwerke ohne Entschädigung an den Staat fallen.

Die öffentliche Meinung Frankreichs, die Handelskammern u. a. haben zu diesem Gesetzesentwurf vielfach Stellung genommen — meist mit Widerspruch, indem man in den Bestimmungen einen Eingriff in die Unverletzlichkeit des Eigentums erblickte. So auch der Kongreß »de la Houille Blanche« im September 1902.

Dieser Kongreß von Grenoble hatte zum Zweck:

1. die Vor- und Nachteile der verschiedenen Gesetzentwürfe über die rechtliche Behandlung der Wasserkräfte zu erörtern, und
2. die Entwicklung zu zeigen, die in der Dauphiné und in Savoyen die Nutzbarmachung der Wasserkräfte schon genommen hat, und die Aufmerksamkeit der Industriellen auf die zahlreichen in diesen Bezirken noch erschließbaren Wasserkräfte hinzulenken.

Der Kongreß von Grenoble kennzeichnet einen Markstein in der Entwicklung der Wasserkraftausnutzung Frankreichs. Es war dieser Kongreß eine Vereinigung von Männern, die in Betätigung wissenschaftlicher Forschung und praktischer Erfahrung die gesteigerte Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf den Gedanken der Erschließung der »weißen Kohle« lenkte. Vertreter des Rechts und der hydraulischen und elektrischen Ingenieurwissenschaften haben hier in Grenoble den Gegenstand von gesetzgeberischen, wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten erörtert, um ihrem Vaterlande zu dienen in der Aufschließung heimatlicher Hülfsquellen. Es ist ein Vorgang, der sicherlich nicht verfehlen wird, praktische Erfolge zu zeitigen, und der auch bei uns nachahmenswert sein sollte[1]).

1) Näheres Le Génie Civil 1902.

E. Schweden. Norwegen.

Norwegen hat, wie Frankreich, die Schweiz und andere Länder, an der Westküste natürliche Ausgleichweiher in den Gletschern. Wichtig für einen gleichmäßigen Wasserhaushalt sind zudem seine Hochmoore und Waldungen. Die vielen norwegischen Binnenseen bieten in außerordentlich günstiger Weise die Möglichkeit, mit geringen Mitteln eine Regelung der Abflußmengen herbeizuführen. Es kann dies vielfach in einfacher Weise durch Aufhöhung der Abflußstelle des Sees durch einen gemauerten Damm oder ein Nadelwehr geschehen. Bei den großen Flächen lassen sich durch Stauungen von einigen Wehren sehr bedeutende Fassungsräume schaffen, z. B. beim See Mjösen im Glommengebiet können durch ein Wehr von 3 m 1100 Mill. cbm nutzbar gemacht werden[1]).

Neuere Wasserkraftanlagen.

Süd-Norwegen besitzt in etwa 260 Wasserfällen annähernd 3300 m Gesamtfallhöhe, und es sollen viele hunderttausend Pferdekräfte hier erschlossen werden können. Die Wasserwirtschaft Norwegens und Schwedens hat infolge dieses Wasserreichtums in letzter Zeit wesentlichen Aufschwung genommen, und eine Reihe von Wasserkraftwerken sind entstanden. Es seien nur erwähnt als eines der größten und interessantesten Kraftwerke von Europa die Kykkelsrudanlage. Das Werk ist ausgebaut für eine Leistung von 45000—52000 PS., die rund um den inneren Teil des Christiania Fjord mit einer Hochspannung von 20000 V. bis auf 87 km Entfernung verteilt werden. Das Elektrizätswerk Hafslund bei Sarpsborg in Norwegen arbeitet für eine Karbidfabrik, ein Metallschmelzwerk und eine elektrische Vollbahn von 7 km Länge, außerdem für Beleuchtung und Kraftzwecke. Seine Leistungsfähigkeit beträgt 24000 PS.; zusammen mit dem Kraftwerk Borregaard (Holzstofffabrik) wird eine Wasserkraft von annähernd 50000 PS. ausgenutzt.

Das Elektrizitätswerk Gravfos der Stadt Drammen und die Holzstoff- und Papierfabrik Embretsfos liefern eine Kraft von 15000—20000 PS Die Holzschleiferei Labro verwertet den 36 m hohen Wasserfall Labrofos am Flusse Laagen. Weiterhin seien genannt das Werk der Stadt Drontheim (30 m Gefälle, Leistung 2400 PS., auf 10000 PS. erweiterungsfähig)

1) Holz, Über Wasserkraftverhältnisse in Skandinavien und im Alpengebiet.

und das Karbidwerk Notodden in Norwegen (Gefälle 18,5 m, Leistung 20000 PS.), das zugleich Kraft und Licht an die Gemeinde Notodden liefert und die elektrische Energie zur Erzeugung von Düngemitteln aus dem Stickstoff der atmosphärischen Luft verwertet.

Die Nutzbarmachung des Gefälles an Schiffahrtsstraßen gestaltet sich auf der skandinavischen Halbinsel meist günstig. Ein Beispiel hierfür bietet der Bandak-Skien-Kanal. Dieser Kanal stellt die Schiffahrtverbindung her zwischen der Meereshöhe bei der Stadt Skien und dem Wasserspiegel + 72 m im Bandaksee. Dabei kommt als größte Staustufe die 23 m hohe Stufe Vrangfos vor, welche die Schiffe mit einer Schleusentreppe von 5 Gefällen überwinden. Bedeutende Wasserkräfte sind an diesem Kanal erschlossen worden. Die Union, die größte Anlage dieser Art in Norwegen, nutzt in einer Zellulose- und Holzschleiferei nebst Papierfabrik rund 10000 PS. aus. Diese Werke liegen für die Fabrikation äußerst günstig, das Rohmaterial — die Baumstämme — werden aus den Wäldern angeflößt und die fertigen Produkte können nach kurzer Fahrt auf der elektrischen Uferbahn in Seeschiffe verladen werden[1]). Es ist dies ein treffendes Vorbild, wie vorteilhaft sich die industrielle Ausnutzung der am masurischen Seenkanal gewinnbaren Wasserkräfte und des Holzreichtums der umliegenden Waldungen in Ostpreußen mit Hilfe der Schiffahrt dieses Kanals gestalten könnte. Bemerkenswert ist die Gründung der Gebäude bei diesen Kraftwerken. Sie wurde dadurch vereinfacht, daß das Wasser den Turbinen in geschlossenen Rohrleitungen zufließt und in schmiedeeisernen Saugrohren abströmt, so daß die Fundamente des Hauses nicht vom Wasser bespült werden.

Die Ausbaukosten der Wasserkräfte sind auf der skandinavischen Halbinsel infolge der günstigen natürlichen Verhältnisse niedrig. Für das Kykkelsrudwerk soll die Herstellung etwa 200 Mk. für 1 Pferdekraft (ohne Grunderwerb) gekostet haben. In Notodden stellt sich die Jahrespferdekraft auf nur 12 Mk.

Gewerbliche und staatliche Verwertung der Wasserkräfte in Schweden und Norwegen.

Die norwegische Industrie und Kapitalskraft gilt heute noch als wenig leistungsfähig. Die ältere Industrie beschränkt sich fast nur auf die

1) Wagenbach, Turbinenanlagen.

Holzverwertung (Zellulose- und Papierfabrikation), während die neueren großen Wasserkraftanlagen in der Hauptsache der chemischen Verarbeitung von Rohstoffen des Landes (Karbid) dienen. Die Fernübertragung der Kräfte ist noch wenig ausgebildet. Neuerdings plant man in Schweden eine Übertragung auf 150 km zur Versorgung von Stockholm. Immerhin ist es für die Beurteilung der Bedeutung der Wasserkräfte bemerkenswert, daß die Kohleneinfuhr nach Schweden seit dem Jahre 1898 fast auf demselben Punkte stehen geblieben ist. Man sieht den Grund dafür zum wesentlichen in dem Umstande, daß die reichen Wasserkräfte des Landes mehr und mehr für Kraft- und Verkehrszwecke aufgeschlossen werden. Auch in der Gaserzeugung ist eine Abnahme des Verbrauchs von Kohlen festzustellen, weil die elektrische Beleuchtung allgemeinere Ausbreitung erfährt. Günstig ist diesem Entwicklungsgange die gleichmäßige Verbreitung der Wasserkräfte über das Land.

Weil die Hilfskräfte des eigenen Landes nicht auf der vollen Höhe stehen, bietet Schweden und Norwegen der ausländischen Unternehmung ein großes Feld. Deutsches und englisches Kapital hat sich darum auch in den Fabrikanlagen und in den neuesten Elektrizitätswerken lebhaft beteiligt. Im besondern für Deutschland liegen die Verhältnisse insofern günstig, als viele große Wasserkräfte sich ganz in der Nähe der Küste vorfinden, so daß von den Kraftwerken gute Schiffsverbindung nach allen Richtungen vorhanden ist.

Auch die Fortschritte in der Technik der Fernübertragungen haben im Auslande den Wunsch wach werden lassen, aus den Wasserschätzen Skandinaviens Vorteil zu ziehen. So plant man am Lagaflusse in Schweden Wasserkraftwerke zu errichten und ihre Energie mittels unterseeischen Kabels nach Dänemark zu überführen. Diese Fernleitung über See ist als eine neue Übertragungsart sicherlich eine interessante Erscheinung. In Anbetracht solcher Entwicklung könnte selbst in Deutschland der Gedanke rege werden, aus den reichen nordischen Kraftvorräten zu schöpfen. Denn die Entfernungen vom südlichen Teile Schwedens bis zu unserer Küste sind nicht größer als die in Amerika ausgeführten Übertragungsstrecken[1]).

Aber es scheint, daß sich solchen Plänen Hindernisse wirtschaftspolitischer Art entgegenstellen wollen. Denn neuerdings sind in Schwe-

1) Siehe Abschn. V, 2, G.

den und Norwegen — ähnlich wie in der Schweiz — Strömungen vorhanden, das Ausland von der Beteiligung an der Nutzbarmachung der heimischen Wasserfälle möglichst auszuschließen. Und damit im Zusammenhange steht in beiden Ländern das Bestreben, die Wasserkräfte zu verstaatlichen. Schweden ist auf diesem Wege vorangegangen, hat Wasserfälle gekauft und ihre Energie zum Teil schon für den elektrischen Betrieb seiner Eisenbahnen erschlossen. Norwegen bemüht sich, dem Nachbarlande darin zu folgen und die Wasserkraftverwertung durch gesetzliche Bestimmungen zu regeln. So tritt auch hier in der Behandlung dieser bedeutsamen Frage das nationale Moment stark in den Vordergrund.

Zurzeit beanspruchen zwei skandinavische Wasserkraftunternehmungen das größte Interesse. Eine wichtige Tatsache ist, daß Schweden den Trollhättan-Kanal angekauft hat. Man beabsichtigt, einen Wasserweg von Gothenburg nach Stockholm herzustellen. Mit der Erwerbung dieses Kanals ist der Staat Eigentümer der Trollhättan-Wasserfälle geworden, die in einer Stärke von 100000 PS. nutzbar gemacht werden sollen. Der Staat will die Kraftanlage selbst ausbauen und betreiben, und man hat dabei in erster Linie den elektrischen Betrieb der Eisenbahnen im Auge.

Das zweite Unternehmen betrifft den Rjukanfos, der als der gewaltigste Wasserfall Norwegens gilt. Er vereinigt auf 9 km Länge eine Fallhöhe von 550 m, von denen in einem einzigem Abfall über 100 m vereinigt sind. Eigentümerin des Rjukanfos ist eine private Gesellschaft, die den Ausbau der 550 m Gefälle mit 40 cbm/sek. zur Gewinnung von 220000 PS. beabsichtigt. Das Unternehmen soll elektrochemischen Zwecken dienen. Zur Sicherung des Mindestwassers von 40 cbm/sek. ist oberhalb des Wasserfalles beim Ausfluß des Sees Mjösvand eine 10 m hohe Staumauer z. Z. im Bau begriffen, die ein Staubecken von 600 Mill. cbm schaffen wird[1]).

F. England.

Die Engländer rechnen es sich zum nationalen Stolze an, daß die erste praktische Verwertung der Wasserkraftausnutzung durch Umwandlung in elektrische Energie und Fernleitung für Beleuchtungszwecke

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905.

in ihrem Lande stattfand. Dies geschah zu Cragside, Northumberland, im Jahre 1882[1]). Deutschland, das die technische Möglichkeit der Kraftübertragung im Jahre 1880 nachgewiesen hatte und späterhin (1891) auch diese Möglichkeit für weite Strecken erprobte (Abschn. III D), kann es sich wenigstens zur Ehre gereichen lassen, daß bei jenem ersten Unternehmen ein deutscher Siemens-Dynamo Verwendung fand. Die Fernleitungsstrecke betrug 1 englische Meile, die übertragene Kraft 8 PS.

In England hat dann die Wasserkraftausnutzung sich im ganzen nur wenig entwickelt. Mitunter ist die Wasserkraft zur Ergänzung von Dampfanlagen herangezogen worden. Das Inselreich ist groß an kleinen Kraftwerken, aber beschränkt in der Möglicheit zur Anlage großer Werke. Das Mißtrauen gegen die Unzulänglichkeit der hydraulischen Kräfte, sowie gegen das Betreten neuer Bahnen überhaupt sieht Ristori[2]) als den Grund der Verzögerung an. Dazu kommt der billige Preis der Kohle. Bemerkenswert in letzterer Hinsicht ist jedoch, daß auch nach seiner Ansicht elektrische Kraft aus den Wasserkräften unter beträchtlich geringeren Kosten gewonnen werden kann als durch Dampfkraft, selbst wenn die Dampfanlagen unter den günstigsten Bedingungen arbeiten.

Neuerdings jedoch ist die hydro-elektrische Kraftausnutzung in England, besonders in Schottland und Wales, lebhafter in Aufnahme gekommen. Und dabei hat sich gezeigt, daß größere Kräfte erschlossen werden können, als man je dachte. Vor allem müssen nach Ristoris Meinung auch in England Becken mit großen Fassungsräumen für den Wasserausgleich gebaut werden. Über die Art der Ausnutzung lassen sich im übrigen hier, wie überall, keine allgemeinenen Regeln aufstellen, jeder Fall muß für sich nach seinen örtlichen Umständen untersucht werden. Dabei verschließt man sich nicht der Erkenntnis des Vorteils, der in dem großen Wasserreichtum im Winter liegt, wo viel elektrisches Licht gebraucht wird. Man ist sich im übrigen auch darüber klar, daß die Zinsen des Anlagekapitals einen wesentlich größeren Anteil an den Erzeugungskosten haben als die unmittelbaren Betriebskosten.

Von bemerkenswerten neueren englischen Wasserkraftanlagen ist zu erwähnen das Werk der Britischen Aluminiumgesellschaft zu Foyers vom Jahre 1896 mit einer Gesamtstärke von 9000 PS. Dieselbe Gesellschaft hat vom Parlament die Genehmigung für eine 17000 PS.-Anlage

1) Nach Eng. Rec. 1904. 2) Engineering 1904.

am Loch Leven erhalten, wo eine Druckhöhe von 290 m ausgenutzt werden soll. Ein anderes interessantes Unternehmen beabsichtigt die Nord-Wales-Kraftgesellschaft in Wales. Es sollen hier 8200 PS. bei einer Gefällhöhe von 345 m aufgeschlossen werden. Der neueste Plan ist der des schottischen Wasserkraftsyndikates für Errichtung eines Werkes von 6000 PS. mit etwa 210 m Gefällhöhe bei Invernglas in Schottland. Alle diese Kraftanlagen sind verbunden mit meist künstlichen, durch Erddämme gebildeten Staubecken, die den Kraftwasserbedarf für 50—150 Tage der Trockenheit aufzuspeichern vermögen. Die elektrische Energie wird in chemischen Fabriken an Ort und Stelle gebraucht oder über Land geleitet zum Betriebe von Kleinbahnen, zu Kraftzwecken in Steinbrüchen oder nach gewerblichen Ortschaften. Die Fernleitung findet bis etwa 40 km weit statt, dabei werden Ströme bis fast 40000 Volt Spannung verwendet.

Die Anlagekosten des Invernglas-Werkes für 1 PS. ergaben sich zu 800 Mk. einschl. der Übertragungskosten, ein Preis, der gegenüber den bei Dampfanlagen entstehenden Kosten nicht zu hoch erschien. Die Fernübertragungskosten waren 12 v. H. der Gesamtkosten. Zu beachten ist, daß bei diesen Aufrechnungen der Gesamtverlust durch die Fernübertragung nur zu 13 v. H. angenommen ist.

Die jährliche Aufwendung für Zinsen, Tilgung, Unterhaltung und laufende Betriebskosten werden bei englischen Anlagen zu etwa 12 v. H. angenommen. Demnach darf das angelegte Kapital nicht größer sein als etwa $8^1/_2$ mal die jährlich zu erwartende Einnahme. Wenn also z. B. der Preis einer Jahrespferdekraft bei einer 5000 PS.-Anlage 120 Mk. beträgt, so dürfen die Baukosten für 1 PS. nicht mehr als $120 \cdot 8{,}5 = 1020$ Mk., und im ganzen nicht mehr als $1020 \cdot 5000 = 5\,100000$ Mk. ergeben.

Die Wasserkraftfrage gewinnt somit auch in England mehr und mehr an Boden. Man wird sich klar darüber, daß der Verbrauch der Kohle nicht dem Leben von Zinsen, sondern dem Aufzehren von Kapital gleichkommt, während die Nutzbarmachung der Wasserkräfte die Erschließung einer unerschöpfbaren Kraftquelle bedeutet. Und diese Erkenntnis wird umso notwendiger, als die neuesten Untersuchungen einer staatlichen Kommission ergeben haben, daß der Kohlenvorrat von Großbritannien und Irland bis zu der gegenwärtig praktisch nutzbaren Abbautiefe von 1200 m den Bedarf an Kohlen bei jährlich 250 Mill. t, wie schon oben bemerkt, nur noch auf etwa 400 Jahre decken kann. Der gegenwärtige

Kohlenverbrauch ist allerdings noch geringer und wird zu 160 Mill. t (1903) angegeben.

Doch scheint es, daß die Wasserkräfte Großbritanniens im Verhältnis zum Kohlenverbrauch keine allzugroße Ausbeute liefern werden, wenn die Schätzung von Professor Forbes zutreffend ist. Dieser berechnet den gesamten Gleichwert an Kohlen, welcher jährlich durch die Nutzbarmachung der Wasserkräfte seines Landes geschaffen werden könnte, zu 1,2 Mill. t jährlich[1]).

Auch in England, wie in den andern hier besprochenen Ländern tritt der soziale Gedanke der Kraftverteilung für das Kleingewerbe in den Vordergrund des öffentlichen Interesses. Der Elektroingenieur Crompton bezeichnet ein gutes System der Kraftverteilung als eine Aufgabe, deren Lösung den tiefsten Einfluß auf das Wohlbefinden der Arbeiter haben wird. Die Bevölkerung, die heute in große Fabriken eingepfercht wird, kann auf das Land zurückgeschickt werden. Man ist in dieser Hinsicht nach seiner Meinung in England am Ende des Könnens. Ein großer Teil der Gewerbe könne in die kleinen Werkstätten verlegt werden, wo unter freundlichen Lebensbedingungen, in Licht und Sonnenschein, im eignen Hause der Arbeiter, unterstützt von Familienmitgliedern, sein Tagewerk verrichten kann. Hier liegt nach Cromptons Ansicht ein besonderes Feld für die Verwertung der Wasserkräfte. Und man verschließt sich in England wie in Amerika nicht der Erkenntnis, daß die Schweiz, Frankreich und Deutschland nach dieser Richtung einen Vorsprung haben und hält die Wirkungen eines solchen Vorgehens für die Gesundheit und das Wohlergehen der Bevölkerung für so bedeutende, daß auch im eignen Lande diese Frage die sorgfältigste Beachtung der besten Männer verdient[2]).

Die englischen Ingenieure finden neuerdings ein gutes Feld ihrer Betätigung in den englischen Kolonien. So wird u. a. in der englischen Fachpresse mit Befriedigung hervorgehoben, daß die wichtige hydroelektrische Hochspannungsanlage bei Wellington in Indien für eine Pulverfabrik (1000 PS.) lediglich von englischen Ingenieuren eingerichtet ist[3]). Das Gefälle beträgt 190 m. Die elektrische Übertragung nach der Fabrik ist 6 km lang. Mit der Anlage ist ein Staubecken von 230000 cbm

1) Engineering 1905 S. 155.
2) Engineering 1905 S. 489.
3) Engineer 1905 S. 314.

verbunden. Des reichen Arbeitsfeldes, das sich den englischen Ingenieuren in Ostindien bietet, ist auch in Abschn. V, 1 gedacht worden.

G. Amerika.

Nord-Amerika — heute das Land der großen Unternehmungen auf allen Gebieten des Lebens — zeigt auch in der Wasserkraftausnutzung eine außerordentliche Entwicklung. Die amerikanische Wasserwirtschaft steht damit in einem gewissen Gegensatz zu der deutschen. In Deutschland war der Ausgangspunkt der neueren wasserwirtschaftlichen Bestrebungen um die Mitte des vorigen Jahrhunderts die Förderung der Schiffahrt, in Amerika steht die Kraftgewinnung aus dem Wasserreichtum des Landes obenan. Bei uns begannen die Arbeiten zur Vervollkommnung der natürlich gegebenen Verhältnisse im Mündungsgebiet der Ströme und in den von Natur an sich der Schiffahrt zugänglichen unteren Flußläufen und waren auf die Vermehrung der Fahrtiefen und Verbesserung der Schiffahrtseinrichtungen gerichtet, in Amerika jedoch setzte die Kunst des Ingenieurs im Quellgebiet der Wasserläufe ein und schuf in den Wasserkraftwerken unmittelbar nutzbare Werte: In Deutschland stehen also die Maßnahmen, welche in den staatswirtschaftlichen Erträgen der Transportverbilligung ihre Berechtigung finden, obenan; in Amerika bilden die Triebfeder die privatwirtschaftlichen Interessen der Einzelunternehmung. Aber wie bei uns sich neuerdings die Aufmerksamkeit des Ingenieurs der Wasserwirtschaft im Gebirge zugewendet hat, so sehen wir, wie Amerika stromabwärts schreitet zur Regulierung und Verbesserung des Unterlaufes der Ströme, in ähnlicher Weise wie dies unsere ausgebauten Schiffahrtsstraßen bekunden.

Die amerikanischen Wasserkraftverhältnisse.

Nordamerika hat für die Wasserkraftausnutzung großartige Verhältnisse. Es soll bei diesen Worten nicht lediglich an die wohl einzig in der Welt dastehenden Wasserkräfte des Niagara gedacht sein, die auf 5 Mill. Pferdestärken berechnet werden, auch nicht nur an den Shawiniganfall bei Quebek, wo das Wasser des St. Mauriceflusses 43 m herabstürzt und 100000 PS. liefert, und sonstige außergewöhnliche Naturerscheinungen des amerikanischen Kontinents. Es sind, wie dies die in neuerer Zeit ausgeführten Anlagen dartun, günstige Bedingungen

überall vorhanden — Wasser und Gefälle steht in reichlichem Maße zur Verfügung. Dazu kommt ein verhältnismäßig guter Ausgleich der Wasserführung in den aus hohen Gebirgsketten — dem Bezirk der weißen Kohle — gespeisten Flüssen, und wo diese Gleichmäßigkeit fehlt, passende Geländeverhältnisse für die Schaffung eines künstlichen Ausgleichs durch Herrichtung großer Stauweiher. Es seien von den vielen Beispielen nur erwähnt die Talsperre am Crotonflusse, die für die Wasserversorgung der Stadt New York 114 Mill. cbm aufspeichert und deren Erweiterung durch die Errichtung eines zweiten Beckens von 260 Mill. cbm Stauinhalt im Esopustale beabsichtigt wird. Weiterhin ist hervorzuheben das geplante Staubecken am Salt River im nordamerikanischen Staate Arizona, das einen Aufspeicherungsraum von 1200 Mill. cbm haben soll, also mehr als das bekannte Becken im Nil bei Assuan. Diese Anlage wird zugleich Bewässerungs- und Kraftzwecken dienen.

Ein bedeutendes Sammelbeckenunternehmen beschäftigt gegenwärtig die nordamerikanische Regierung in Verbindung mit dem Panamakanal. Um von diesem die Fluten des Chagres-Flusses, der bei Hochwasser 300 cbm führt, fernzuhalten, soll dieser Fluß wenig nördlich vom Kanal durch eine Talsperre von 60 m Höhe abgesperrt und dadurch ein Staubecken von 460 Mill. cbm Fassungsraum geschaffen werden. Die Talsperre wird aus den Massen des Culebra-Einschnittes geschüttet werden. Bemerkenswert ist bei dieser Anlage, daß für die Hochwasserentlastung des Beckens zwei Tunnel von 5,4 bzw. 12,3 km Länge nach anderen Flußgebieten als Überläufe hergestellt werden sollen, die die überschüssigen Wassermengen dem Stillen Ozean und dem Karaibischen Meer zuführen. Es ist beabsichtigt, mit dem Becken eine Kraftanlage zu verbinden[1]).

Im Zusammenhange von Ursache und Wirkung mit diesen günstigen natürlichen Verhältnissen steht der frische Unternehmungsgeist des amerikanischen Ingenieurs und sein Wagemut zu großzügigem Schaffen. Er lebt mit seinen kühn vorwärts strebenden Plänen heute gleichsam in der Sturm- und Drangperiode der Jugend. Die Aufnahmefähigkeit des Landes, die immer neue Möglichkeiten zur vorteilhaften Verwirklichung hochgehender Gedanken bietet, reißt ihn und das Kapital zu großen Aufgaben fort. Dem amerikanischen Ingenieur gilt weniger das

1) The Engin. Magazine, Dez. 1905.

Überlegen und Erwägen des höchst erzielbaren Gewinnes, als das schnelle Schaffen und Entstehen. Er wendet seine Aufmerksamkeit mehr der Gestaltung der Bauausführungen und den konstruktiven Anordnungen als dem peinlichen Ausklügeln bei den Vorarbeiten zu, die dessen ungeachtet immer gebührend beachtet werden. Er erfaßt die großen Werte und läßt Kleines leichten Herzens ungenutzt dahin gehen. Es sieht das etwas nach Raubwirtschaft aus und wird sich dereinst als solche sicherlich auch fühlbar machen. Dereinst — in langen, langen Jahren —, wenn auch in seinem Lande der Sättigungsgrad erreicht sein wird, und wenn dort eine ruhige Entwicklung Platz greifen wird. Heute aber ist Amerika das Land der »unbegrenzten Möglichkeiten« auch auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft. Dieser Zustand und diese Auffassung spiegelt sich in allen Ingenieurausführungen und in der amerikanischen Literatur wieder und macht das Studium des amerikanischen Schriftlebens interessant.

Bezeichnend für die Lebhaftigkeit und den weitausschauenden Blick, mit dem die Amerikaner heute an die Wasserkraftausnutzung herangehen, ist die Äußerung eines Ingenieurs in der Zeitschrift des westamerikanischen Zivilingenieur-Vereins, indem er schreibt: »Bei dem gegenwärtigen Fortschritt der Ingenieurtechnik richten wir, wenn wir an einem schönen Wasserfalle vorüberkommen, obgleich unser erster Gedanke sein sollte, ihn vom künstlerischen Standpunkt anzuschauen als eine der größten Naturschönheiten, unsere Überlegung gelassen auf die wirtschaftliche Seite und überfliegen in Gedanken, wieviel Tonnen Kohlen die Ausnutzung des Stromes jährlich ersparen und so den Tag hinausschieben wird, an dem einst unsere prächtigen Kohlenfelder erschöpft sein werden«.

Der Osten Nordamerikas ist reich an großen Abflußmengen, im Westen finden sich in den Gebirgsketten außerordentlich hohe Gefälle. Im Osten sind die reichen und günstig förderbaren Kohlenvorräte als mächtiger wirtschaftlicher Gegner vorhanden, den kohlenarmen Bezirken von Kalifornien und Mexiko ersetzen die »weiße« und »grüne« Kohle den Kraftbedarf. In diesen Bezirken ist heute vor allem die Wasserkraftausnutzung im Gange. Zwei Gegensätze bilden gleichsam das Kraftwerk Sault St. Marie im Staate Michigan mit 900 cbm/sec. Wasserverbrauch — wohl die bisher größte einem Werke zugeführte Wassermenge (Gefälle 6 m) — und die hohen Gefälle der Westküste, wo mit 1 Liter

Wasser sechs und mehr Pferdestärken erzeugt werden. Bemerkenswert ist auch die vielfach hohe Lage der Kraftwerke. So liegen z. B. die Einzugsgebiete des Volta- und Kilarc-Werkes (Kalifornien) in 1500 bis 2100 m über Meereshöhe.

Eingehend sind in neuerer Zeit auch die Wasserkraftverhältnisse des südöstlichen Teiles der Vereinigten Staaten untersucht worden — in den Staaten Virginia, Nord- und Südcarolina, Georgia und Alabama — und haben zu nicht ungünstigem Ergebnis geführt. Die Niederschlagshöhen schwanken hier zwischen 1000 und 1500 mm im Jahr und in den Gebirgszügen können hohe Nutzgefälle erschlossen und Staubecken geschaffen werden. Für die Verwertung der Wasserkräfte verspricht die Industrie benachbarter Bezirke günstigen Absatz, so daß kostspielige weite Übertragungen nicht nötig werden[1]).

Auch in Südamerika setzt gegenwärtig eine lebhafte Bewegung ein, die darauf hinausgeht, das kohlenarme Land durch die Erschließung von Wasserkräften von den hohen Kohlenpreisen unabhängig zu machen. Es wird berichtet, daß sich dieses Land wie kaum ein anderes zur Erzeugung elektrischer Energie durch Wasserkraft und ihre Fernverwertung eignet. Beinahe Dreiviertel von Südamerika besteht aus tiefen Tälern, Hochebenen und Gebirgsketten, und es ist darum wohl anzunehmen, daß sich hier auch ohne Kohlenlager ein bedeutendes gewerbliches Leben aus den Wasserkräften entwickeln kann. Es soll sich schon heute eine förmliche Umwälzung in der Verwendbarkeit der Elektrizität für gewerbliche Zwecke vollziehen. Deutsches Geld ist dabei lebhaft beschäftigt. Als die bedeutendsten Arbeitsfelder werden Argentinien und Brasilien angegeben[2]).

Gegenwärtig plant man die industrielle Ausnutzung des Titicacasees, der 3854 m über dem Meeresspiegel liegt und wohl der höchste schiffbare See der Welt ist. Dieser See soll als Kraftquelle für die südlichen Eisenbahnen Perus erschlossen werden. Die Landwirtschaft, der Bergwerksbetrieb und vielleicht auch elektrischer Schiffahrtsbetrieb soll ebenfalls mit der erzeugten Energie versorgt werden.

Neuere amerikanische Wasserkraftunternehmungen.

In noch stärkerem Maße wie bei den europäischen Kraftanlagen findet man in Nordamerika die Konzentrierung hoher Gefälle durch lange

1) The Engin. Mag. Okt. 1905. 2) Elektr. Zeitschr. 1905.

Tabelle 40. Elektrische Kraftübertragungsanlagen in Kalifornien[1]).

Name	Jahr der Errichtung	KW.	PS. 1 PS. = 0,736 W.	Gefälle m	Übertragung km	Spannung Volt	Bemerkungen
Pomona. . . .	1893	—	—	120	46	10 000	Kleinere Anlagen von einigen 100 PS.
Redlands . . .	1893	—	—	113	12	11 000	
Bodie	1893	—	—	105	18	3 500	
Angels Camp . .	1895	—	—	171	13	16 500	
Folsom	1895	—	1 200	16,5	34	11 000	
Nevada County .	1896	—	2 000	62	13	5 500	
San Joaquin . .	1896	1 360	—	424	110	19 500	
Big Creek . . .	1896	—	500	277	24	11 000	
Newcastle . . .	1896	—	1 000 bzw. 680	136 bzw. 66	55	15 000	Die Anlage umfaßt 20 Staubecken im Hochgebirge und 720 km Zuleitungsgerinne und Kanäle. Die beiden Kraftwerke sind parallel geschaltet.
Bakersfield. . .	1897	—	1 500	61	39	11 500	Mit 11 Staubecken im Hochgebirge.
Blue Lakes. . .	1897	—	—	313	24	11 000	
Browns Valley .	1898	—	2 000	90	30	16 700	
San Gabriel . .	1898	—	2 000	240	37	16 500	10 km Zuführungskanal; davon zwei Drittel in Tunneln, ein Drittel Holzrohrleitung. Tangentialräder. Am Verwendungsort (Los Angeles) Dampfaushilfe.
Santa Ana . . .	1899	6 000	—	220	133	33 000	Wasserzuführung hat 18 Tunnel und 16 offene Strecken. Tangentialräder. Zur Zeit des Baues höchste Spannung und größte Übertragungslänge »in the world«.
Mount Whitney .	1899	1 350	—	390	67	17 300	Tangentialräder. 8 km lange Zuleitung.
Mill Creek Nr. 2 .	1899	500	—	187	37	11 500	Verbunden mit Mill Creek Nr. 3.

Name	Jahr der Errichtung	KW.	PS. 1 PS. = 0,736 KW.	Gefälle m	Übertragung km	Spannung Volt	Bemerkungen
Truckee-Fluß . .	1900	—	2 000	25	53	22 000	
Colgate	1901	9 450	—	210	224	40 000	Fernleitung hat freie Spannweiten bis 1270 m, »the longest in the world«. Spannung soll auf 6000 Volt erhöht werden.
Volta	1901	—	3 000	361	159	22 000	Kupferminen- und Städteversorgung. 1903 die Cow Creek-Anlage mit 4000 PS. zur Verstärkung (360 m Gefälle).
Electra	1902	10 000	—	440	246	55 000	Die Kraft wird nach San Francisco geleitet.
Kleiner Bear-Fluß	1902	1 000	—	198	98	16 000	Verbunden mit einem Ausgleichweiher von 60 000 cbm Fassungsraum. 1600 m lange Druckleitung.
Ontario	1902	—	1 500	210	24	16 000	
Mill Creek Nr. 3 .	1903	—	1 500	588	120	33 000	Das höchste in Kalifornien ausgenutzte Gefälle.
De Sabla . . .	nach 1900	9 000	—	468	605	60 000	Eins der Tangentialräder liefert 8000 PS., verbunden mit 5500 KW.-Generator.
American-Fluß .	1904	3 000	—	173	128	60 000	11 km lange Zuleitung in offenem Gerinne.
Kilarc	1904	—	7 500	360	200	22 500	Mit dem Voltawerk vereinigt. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1904.
Kern-Fluß (Los Angeles) . . .	nach 1900	—	30 000	72 bis 390, im ganzen 1800	186	66 000	Vereinigt mit den Santa Ana- und Mill Creek-Anlagen. Die Gesamtanlage der Edison Electric Co. zu Los Angeles umfaßt 7 Bezirke. Es sind zurzeit 4 Wasserkraftwerke und 3 Dampfkraftanlagen vorhanden. 3 Wasserkraftwerke gehen der Fertigstellung entgegen, 7 weitere sind geplant. Mehr als 20 Städte und Gemeinden werden mit Licht und Kraft versorgt. Verteilungsnetz 960 km lang. Eng. Rec. 1905.
Bishop Creek . .	nach 1900	—	2 600	326	192	60 000	Für Licht und Kraftzwecke in den Goldfeldern von Nevada. Aluminiumleitung. Le Génie Civil 1905.

1) Nach Journal of the Association of Engineering Societies, März 1905.

Wasserführungen in offenen Kanälen oder in Tunneln, die dann in einem steilen Abfall in geschlossenen Rohrleitungen ihren Abschluß finden. Nach den unerfreulichen Erfahrungen bei der Kraftanlage zu Bakersfield, wo öfters Betriebsstörungen in der Wasserzuführung durch Bergrutsche veranlaßt wurden, sind die amerikanischen Ingenieure im allgemeinen gegen die offenen Gerinne als Zubringer zu den Kraftwerken und geben den Tunnelzuführungen den Vorzug. Die offenen Zuleitungen liegen teils im Gelände, vielfach aber in hölzernen Gerinnen (flumes), die über Gebirgsschluchten auf oft hohen Viadukten hinweggeführt werden. Die Druckleitungen für niedere Gefälle werden bisweilen aus Holz oder Eisenbeton hergestellt, für hohen Druck dagegen verwendet man schmiedeeiserne, meist genietete, neuerdings aber auch geschweißte Rohre.

Wenn einerseits die vorstehend geschilderten Eigenschaften das nordamerikanische Wasserkraftwesen kennzeichnen, so tut dies nicht minder die außerordentlich weite Übertragung, die mitunter selbst bei verhältnismäßig nicht großen Kräften stattfindet. Es ist naturgemäß, daß solche Entfernungen sehr hohe Spannungen erfordern. In dieser Hinsicht dürfen heute als die Grenze die Versuche der Licht- und Kraftgesellschaft der Stadt Los Angeles gelten, die sich auf 80000 Volt bei 26 km Entfernung erstreckten. Infolge der dabei erzielten günstigen Ergebnisse beschloß man, die Übertragungsspannung, die vom Kernriver am Fuße der Sierra Madre auf 200 km 40000 Volt betrug, auf 66000 Volt zu erhöhen. Diese Übertragungen erfolgen mittels Freileitungen. Die vorstehende Tabelle 40 ist eine Zusammenstellung der bemerkenswerten Kraftübertragungen der Westküste. Die großen Entfernungen ergeben sich aus der Nutzbarmachung der in den hohen Gebirgen gewonnenen Wasserkräfte in den Verbrauchsorten an der Seeküste. Die Spitze führt das Kraftwerk de Sabla, dessen Übertragung von 605 km etwa der Entfernung Berlin-Königsberg entspricht.

Die Tabelle 41 soll versuchen, ein Bild von der Entwicklung des Wasserkraftwesens des übrigen Nord- und Mittelamerika zu geben. Es finden sich in der Tabelle Angaben über Wasserkraftwerke, die in den letzten Jahren erbaut und in Betrieb genommen wurden, wenn schon die Aufzeichnungen auf Vollständigkeit keinen Anspruch erheben wollen. Die meist mitgeteilte Quellenangabe wird das weitere Studium erleichtern. Denn die Anordnungen dieser amerikanischen Werke bieten eine Fülle technischer Einzelheiten und Eigenartigkeiten und dem In-

Tabelle 41. Neuere Wasserkraftanlagen in Amerika.

Kraftanlage	Gefälle m	Leistungsfähigkeit PS.	Verwendung	Bemerkungen
Spier-Wasserfall (Hudson) . . .	24	50 000	Überlandzentrale mit 30000 V. Spannung auf 70 km.	Kosten 8,4 Mill. Mk. Engineer 1904. Scientific American 1903 S. 136. — Mit 550 m langem Staudamm von 47,5 m Höhe.
Columbus (Georgia).	10	25 000	Elektr. Licht. Antrieb einer Mühle.	Mit 330 m langer Staumauer aus Beton. Eng. Rec. 1904 I S. 64.
Twin-Branch (Nord-Indiana) .	—	12 000	Für kaufmännische u. industrielle Unternehmungen.	Es werden weitere Kraftwerke am St. Joseph-Fluß geplant, die die gewonnene Kraft elektrisch in die Umgegend übertragen sollen. Eng. Rec. 1904 I S. 95.
Garvin's Fall . .	7,5—9	3000–6000	Für Licht, Kraft und Bahnbetrieb.	Mit Stauwerk von 140 m Länge. Das Kraftwerk befindet sich in einem Schifffahrtskanal, der neben dem Merrimac-Fluß hergestellt ist.
Power - Company in Richmond. .	—	10 000	Elektrische Energie.	Wasserkraft schwankt zwischen 640 und 8850 PS. Ergänzung durch Dampfanlage. Eng. Rec. 1904 I S. 11.
Cataroba-Fluß bei Rock-Hill, S. C.	—	6000–7600	Überlandzentrale für Städte u. andere Ortschaften. Fernleitg. bis auf 30 km.	Mit Staudamm (Erdschüttung mit Mauerkern). Eng. Rec. 1904.
New Milford (Connecticut) . . .	35	10 500	Überlandzentrale mit 33500 V. Spannung.	Mit 3 km langem Betriebskanal. Eng. Rec. 1904.
Dan-Fluß . . .	—	4 500	Webereibetrieb. Elektr. Übertragung.	Mit neu entstandener Kolonie. Eng. Rec. 1904.
Puyallup-Fluß (Washington). .	265	20 000	Fernleitung mit 55000 V. auf 40 u. 75 km nach den Städten Tacoma u. Seattle für Kraft, Licht u. Bahnbetrieb.	Das Werk kann auf die doppelte Leistung ausgebaut werden. Mit Dampfaushilfe von 13 000 PS. Z. d. V. d. Ing. 1905 S. 413. Eng. News 1904. S. Abschn. III C.
St. Maurice - Fluß (Shawiniganfälle bei Quebek) . .	43	22 500	10000 PS. werden nach Montreal auf 135 km mit 50000 V. für Kraftzwecke und Straßenbahnbetrieb übertragen, im übrigen Ausnutzung am Platze u. in der Umgegend.	Die Ausnutzung der Wasserfälle hat dazu geführt, daß im Laufe von 5 Jahren eine Stadt von 5000 Einw. entstanden ist. Die gesamte vorhandene Wasserkraft wird zu 100000 PS. berechnet. Mit 10500 PS.-Turbine u. Generator von 8000 PS. Stärke.

Kraftanlage	Gefälle m	Leistungsfähigkeit PS.	Verwendung	Bemerkungen
Lowell am Spring-Fluß, Kan. . .	7,2	5 000	Überlandzentrale. Fernleitg. auf 45 km nach Blei- u. Zinkbergwerken. 33000 Volt.	Mit massivem Wehr. Scientific American 1905. J. f. Gasb. u. Wasservers. 1905.
Morgan-Fälle . .	—	14 000	Elektrische Energie.	Atlanta Water and Electric Power Co. Eng. Rec. 1904.
York Haven, Pa. .	—	20 000	—	Eng. Rec. 1904.
Lockport (Entwässerungskanal von Chicago). .	13,5	18 000	Für städtische u. industrielle Zwecke.	Mit Schiffsschleuse (39:6,6 m) im Kanal. Eng. News 1905. Journ. Western Soc. of Eng. 1904.
Little Falls (am Mississippi) . .	6,5	10 000	Kraftkleinverteilung.	Spätere Erweiterung auf 17000 PS. Wasserausgleichung durch aufgestaute Seenbecken im Quellgebiet des Miss.
Guanajuato (Mexiko)	—	8 000	Kraftfernleitung auf 160 km mit 60000 V. Spannung.	Mit 6,5 km langem Zuleitungskanal von 4 m Sohlenbreite. 1010 m lange Druckleitung, die sich von 1,75 auf 1,45 m verengt. Fernleitung mit langen Spannweiten (135 m). Z. d. V. d. Ing. 1903.
Canyon Ferry am Missouri . . .	—	3 000	Elektrische Energie.	Mit Staudamm. Amer. Soc. of Civ. Eng. Proc. 1903.
Kettle-Fluß bei Cascade, B. C. .	47	6 200	Überlandzentrale für Kraft u. Licht. Fernleitung auf 34 km mit 20000 V. Spannung.	Mit Damm aus Holzwerk u. Steinpackung, 11 m hoch. Eng. Rec. 1903 I S. 458.
St. John (Neufundland)	56	3 700	—	
Mc Calls Ferry am Susquehanna-Fluß, Pa. . . .	10—12	100 000	Überlandzentrale für Fernleitg. an Städte im Umkreis von 100 km.	Mit Staudamm.
Sault St. Marie (Michigan) . .	6	46 000	Für elektrochemische Zwecke und öffentl. Elektrizitätswerk.	Das Werk hat mit 900 cbm den größten Wasserverbrauch. 80 Turbinen mit je 580 PS. Leistung.
Ontario, Kanada .	78	6 000	Kraft und Licht.	An einem den Niagara umgehenden Kanal gelegen. 2 Turbinen zu je 3000 PS.
Chattanooga (Tenn.)	12	56 000	Elektrische Energie.	Fernleitung auf 18 km.

Kraftanlage	Gefälle m	Leistungsfähigkeit PS.	Verwendung	Bemerkungen
Cazadero (Oregon)	33	20 000	Eisenbahnbetrieb. Der Strom wird mit 34 000 V. Spannung auf 65 km nach Portland geleitet.	Es sollen am Clakamas-Flusse entlang eine Reihe von Wasserkräften durch Anlage von Wehren erschlossen werden. 6 Turbinen zu je 3250 PS. im J. 1906 eröffnet. La Revue technique 1905.
Neals Shoals, S. C.	7	7 000	Überlandzentrale.	Aluminiumleitung.
St. Croix, Wisc. .	16,5	24 000	Fernleitung f. gewerbliche Zwecke.	Eng. Rec. März 1906.
Animas-Fluß, Colo.	300	8 000	Fernübertragung mit 50 000 V. auf 40 km.	Zwei Peltonräder je 4000 PS. Eng. News, Jan. 1906.
Necaxa (Mexiko) .	450	40 800	Fernleitung mit 60 000 Volt.	Sechs Turb. je 6800 PS. El. World 1905.

genieur eine Fundgrube vielseitiger Anregungen, und zwar um so mehr, als die Bauten oft unter schwierigen äußeren Verhältnissen sich vollziehen. In abgelegenen Tälern errichtet, ist besonders die Förderung solcher Baustoffe, die nicht an Ort und Stelle gewonnen werden können, und der Maschinenteile umständlich. Abseits von den Eisenbahnen und selbst von befestigten Straßen muß die Fortschaffung mitunter auf steilen Pfaden auf dem Rücken von Maultieren erfolgen. Die Maschinen werden nach Gewicht und Umfang in viele kleine Teile der Tragfähigkeit dieser Tiere entsprechend zerlegt, ein Umstand, der schon beim Entwerfen berücksichtigt werden muß. Eine solche eigenartige Ausführung bietet sich dar in der hydro-elektrischen Kraftanlage (5400 PS.) von Bogota, Colombia, einer Stadt, die 2500 m über Meeresspiegel liegt. Bei der Kraftanlage zu Guanajuato (Mexiko) geschah die Aushebung des 6500 m langen Zuleitungskanales von 4 m Sohlenbreite in der Weise, daß der Boden in Säcken gefüllt von den Eingeborenen herausgetragen wurde, wohl weil geeignete maschinelle Fördereinrichtungen fehlten oder teurer gewesen wären.

Die Nutzleistung der amerikanischen Wasserkraftwerke findet Verwendung für Licht und Kraftzwecke, für den Eisenbahn- und Straßenbahnverkehr und in ausgedehntem Maße auch in chemischen Gewerben. Die Vergebung zur Nutzbarmachung der natürlichen Wasserkräfte aus dem rohen Wasserabfluß und dem Gefälle erfolgt als ein Rechtstitel,

der dem Unternehmer vom Staate für die Ausnutzung ausgestellt wird, nachdem jener die Rechtsansprüche auf das Eigentum der vorhandenen Rohkraft erworben hat. Dieser Rechtstitel ist auf einen Dritten übertragbar. Die Rechte werden als solche ohne Rücksicht auf die etwaige tatsächliche Gestaltung von vornherein verliehen[1]).

Wasserkraftnutzung in Kalifornien und am Niagarafall.

Auf zwei hervorragende Mittelpunkte des nordamerikanischen Wasserkraftwesens möge hier noch mit einigen Worten eingegangen werden: auf die Kraftausnutzung in Kalifornien und am Niagara.

Die kalifornischen Anlagen sind durch eine rauhe Entwicklungsperiode zu einer hohen Vollkommenheit gelangt. Die Neigung der Ingenieure geht hier hinaus auf die Konzentrierung großer Kräfte mit großen Maschineneinheiten. Hohe Pressungen in den Rohrleitungen werden bevorzugt und sehr lange Wasserzuführungen, auch in Tunneln, nicht gescheut. Fast ausschließlich sind Tangentialräder in Verwendung, die hier zuerst gebaut wurden. Neben den hohen Gefällen sind den kalifornischen Unternehmungen die großen Übertragungsstrecken eigen, deren schon vorhin gedacht ist. Dabei kommen bei Flußüberschreitungen außergewöhnliche Spannweiten der Freileitungen vor. Aber eben diese Entfernungen zwischen Gewinnungs- und Verbrauchsort der Kräfte haben sich als der schwächste Punkt der Anlagen erwiesen und der Vervollkommnung des Verteilungsnetzes wird die ganze Aufmerksamkeit der Konstrukteure zugewandt. Man hat versucht, eine größere Betriebssicherheit dadurch zu erzielen, daß man mehrere Kraftwerke zu gemeinsamer Leistung zusammengeschaltet hat, wodurch bei Störungen eine gegenseitige Aushilfe möglich ist, z. B. bei den Kraftanlagen von Los Angeles in Südkalifornien. Nach neueren Untersuchungen sollen die noch erschließbaren Wasserkräfte Kaliforniens die schon ausgebeuteten Kräfte, über die Tabelle 40 einigen Aufschluß gibt, weit übertreffen, und es wird der Wasserkraftnutzung dieses Landes bei der günstigen Marktlage, dem Mangel an Kohlen und dem stets wachsenden Kraftbedarf eine große Entwicklung vorausgesagt[2]).

Die mittlere nutzbar zu machende Leistung des Niagarafalles — eigentlich sind zwei Fälle vorhanden, die durch eine Felseninsel gebildet

1) Eng. Rec. 1905.

2) Journal of the Association of Engineering Societies, März 1905.

werden — wird zu 5 Mill. PS. angegeben. Prof. Ayrton[1]) berechnet als Mindestleistung in trockner Zeit 3 Mill. PS. Das Gefälle beträgt rd. 50 m. Die Nutzbarmachung des Wasserfalles für Kraftzwecke begann um das Jahr 1850, setzte aber lebhafter erst mit dem Jahre 1890 ein, wo gelegentlich eines internationalen Wettbewerbes diese Kraftfrage eingehend studiert wurde. Die erste elektrische Zentrale entstand im Jahre 1893. Von da ab begann eine großartige Entwicklung. Die Ausnutzung beträgt heute rd. 550000 PS. Der Niagarafall bildet die Grenze zwischen den Vereinigten Staaten und Kanada und die Kraftanlagen verteilen sich wie die folgende Tabelle 42 angibt.

Tabelle 42. Wasserkraftnutzung am Niagarafall[2]).

	Gesamtleistung PS.	Turbineneinheiten	Bemerkungen
		Amerikanische Seite.	
1. Niagara Falls Power Company Krafthaus I . . .	50 400	10 Einh. je 5040 PS.	Die Kraftwerke sind bisher nur zum Teil ausgebaut.
2. » II . . .	60 500	11 » » 5500 »	
		Kanadische Seite.	
3. Canadian Niagara Falls Power Company . .	100 000	10 Einh. je 10 000 PS.	Die erteilten Konzessionen beider Seiten sollen sich auf eine Ausnutzung bis 1 340 000 PS. belaufen, d. i. etwa 35 v. H. der Gesamtleistung. Die Genehmigungen sind verliehen an zehn Kraftgesellschaften — vier amerikanische u. sechs kanadische — und man berechnet, daß nach ihrer vollen Ausnutzung der amerikanische Fall vernichtet, d. h. trockengelegt sein wird.
4. Toronto and Niagara Power Company . .	137 500	11 » » 12 500 »	
5. The Ontario Power Company of Niagara Falls	205 000	18 » » 11 390 »	

Die Verteilungsnetze der amerikanischen und kanadischen Anlagen können durch eine vorhandene Kabelleitung zusammengeschaltet werden, so daß eine erhöhte Sicherheit für den Betrieb bei irgend welchen störenden Vorkommnissen in den Kraftwerken vorhanden ist[3]).

1) Eng. News, Sept. 1905.

2) Zum Teil nach Wagenbach, Turbinenanlagen. Vgl. auch Eng. Record und Engineering News 1903, 1904 u. 1905.

3) Über die bei Übertragung und Verteilung der Niagarakräfte zur Anwendung gelangten Aluminiumdrähte s. Scient. Amer. März 1906.

Zwei Arten der hydraulischen Anordnungen sind ausgebildet worden, um die Niagarafälle auszunutzen. Nach der älteren Art wurde das Wasser oberhalb der Fälle entnommen und in Kanälen oder Rohrleitungen bis zum Unterlauf des Flusses geführt, wo in senkrechten Schächten, die in dem Gestein der Ufer ausgesprengt sind, der Abfall zu den Turbinen stattfindet. Das KraftHaus steht am Fuße des Falles. Nach der zweiten neueren Art, die die charakteristische Form des Niagara darstellt, wird das oberhalb des Falles entnommene Wasser durch senkrechte Schächte von etwa 50 m Tiefe unmittelbar den Turbinen zugeführt, die tief unten im Felsschacht stehen. Der Wasserabfluß aus den Turbinen findet durch einen Tunnel statt, der unterhalb des Wasserfalles ausmündet.

Die konstruktiven Einrichtungen der Kraftwerke, der Wasserzuführung, der Tunnel und Rohrleitungen, die durch ihre großen Abmessungen von 6 und 7 m und mehr Durchmesser hervortreten, der Turbinen und elektrischen Ausrüstungen und sonstiger hydraulischer Einzelheiten, worüber die neueren Jahrgänge amerikanischer Fachzeitschriften[1] reichliche Mitteilungen bringen, bieten dem Studium des Konstruktionsingenieurs ein weites Feld. Daneben finden sich in den Zeitschriften auch mancherlei Betrachtungen über die wirtschaftliche Bedeutung der Niagarafälle.

Bemerkenswert ist, daß die Entwürfe von allen Turbinen der Niagarakraftwerke, wie Professor Unwin hervorhebt[2], in der Schweiz oder in Deutschland aufgestellt wurden.

Eine ernste Frage für den Betrieb der Niagara-Kraftwerke ist der Schutz gegen Eisversetzung. Treibeis kommt in ungeheuren Massen wochenlang den Fluß herab von den oberhalb gelegenen Seen. Die Sicherung der Turbinenzuläufe gegen die Zusetzung mit solchem Eis ist bei allen diesen Kraftanlagen eine Aufgabe von sehr großer Schwierigkeit gewesen, und es erfordern die Wintermonate einen fortgesetzten Kampf gegen das Eis[3].

Von den Kräften des Niagarafalles finden etwa 60000 PS. in der unmittelbaren Nähe meist in elektrochemischen Werken Verwendung. Vor jetzt etwa 10 Jahren wurde die erste elektrochemische Fabrik er-

1) Engineering Record, Engineering News, The Engineering Magazine, Scientific American u. a. m. In diesen Zeitschriften sind auch viele Beschreibungen von sonstigen amerikanischen Wasserkraftanlagen enthalten.

2) Engineering, Febr. 1906.

3) Eng. News, Nov. 1905.

öffnet, heute sind die verschiedensten chemischen Betriebe in Tätigkeit. Im übrigen wird die nähere und weitere Umgebung mit Strom für Kraft, Licht und Bahnbetrieb (Neuyork-Zentral-Bahn) versorgt.

Die heutige Kraftausnutzung an den Niagarafällen nimmt das sichtbar abfließende Wasser schon in bedeutendem Maße in Anspruch und mit Sorge erheben sich Stimmen, welche gegen die Ablenkung des Wassers von seinem natürlichen Abfall, wodurch die Schönheit der Landschaft vernichtet würde, Klage erheben. Man berechnet schon den Tag, wo die Fälle trocken liegen werden. Interessant ist es dabei, den Streit zwischen den amerikanischen und kanadischen Interessen zu verfolgen[1]). Besonders lebhaft ist der Widerspruch von Seiten des Staates Neuyork, weil an dieser Seite der Überlauf höher liegt als am kanadischen Ufer und somit hier zuerst ein Trockenlaufen zu befürchten ist. Aber man weist andererseits auch darauf hin, daß nur ein Teil des Höhenunterschiedes zwischen dem Erie- und Ontario-See am Niagarafall selbst nutzbar gemacht wird, während ein wesentlicher Teil, etwa die Hälfte, in den oberen Stromschnellen des Niagara verloren geht. Der Welland-Kanal (kanadisch) vermeidet diese Verluste, indem er um den Fall herumführt, und er erlangt neuerdings Bedeutung für die Kraftausnutzung. In einem Licht- und Kraftwerk am Kanal werden bereits 24300 PS. gewonnen und erhebliche Erweiterungen sind vorgesehen. Man hebt vor allem auch hervor, daß der Ausbau der Kraftwerke am Niagarafall immer schwieriger und kostspieliger wird, während am Welland-Kanal hierfür günstige Vorbedingungen vorhanden sein sollen[2]).

Wirtschaftspolitische Momente in der amerikanischen Wasserkraftverwertung.

Man verschließt sich neuerdings in den Vereinigten Staaten nicht der Einsicht von der Unbilligkeit der Lage, die durch die weitgehende Kraftausbeute des Niagarafalles seitens einzelner Betriebsgesellschaften geschaffen wird. Man erkennt, daß die Ausnutzung der Wasserkräfte durch Privatgesellschaften für das große Volk keinen Vorteil bringt. Die Stadt Buffalo, die mittels der Wasserkraft des Niagara beleuchtet wird, muß hierfür mehr bezahlen als der durchschnittliche Lichtpreis in solchen amerikanischen Städten beträgt, die die elektrische Energie aus der

1) Scientific American 1905.
2) The Engineering Magazine, Nov. 1905.

Kohle gewinnen. Der jährliche Mehrpreis soll sich auf etwa 180 Mk. für eine angeschlossene Pferdestärke belaufen. Das Gleiche gilt für die Fahrpreise der elektrischen Bahn, die in Buffalo nicht geringer als sonstwo sind. Auch die Stadtgemeinde selbst zieht an Gewinnteilen und Abgaben der Betriebsgesellschaft keine höheren Erträge als andere Städte, in denen Dampfkraft-Elektrizitätswerke arbeiten.

Die Einnahmen aus den Niagarakräften kommen vielmehr lediglich 10 Kraftgesellschaften zugute, von denen der Staat Neuyork nicht einen Pfennig erhält, während Kanada jährlich etwa 1 Mill. Mk. als Abgabe erhebt. Die ganze Wohltat von vielen Millionen fällt also einem engumgrenzten Kreis von Aktionären in den Schoß. Man erhebt deswegen heute in Amerika lebhaft den Ruf, daß die Nutzung der freien Naturschätze dieses Wasserfalls der Allgemeinheit gesichert werde, und verlangt ein gemeinsames Handeln der beiden beteiligten Regierungen. Eine Verordnung vom Jahre 1787, die alle Gewässer, die sich in den Mississippi und St. Lorenzstrom ergießen, als Gemeingut aller Staaten und Territorien erklärt, soll zu solchem Vorhaben die rechtliche Handhabe bieten[1]).

Aber auch andere wirtschaftspolitische Gesichtspunkte für die Verwertung der Wasserkräfte werden erörtert.

Wenn zwar, wie oben ausgeführt, Nordamerika in seiner Wasserkraftausnutzung heute noch aus dem Vollen herauswirtschaftet, so werden doch schon Stimmen laut, die zur Überlegung mahnen. In diesem Sinne werden Vorschläge gemacht, einzelne besonders geeignete Täler für die Wasseraufspeicherung dauernd vorzubehalten. Als solche werden z. B. Täler am Lackawanna-Fluß sowie das Wyoming-Tal in Pennsylvanien empfohlen. Diese Täler sollen wirtschaftlich wenig verwertbar sein. Die Landwirtschaft ist in ihnen nicht einträglich, der Boden ist arm und das Gelände felsig, Regengüsse haben die obere Krume abgewaschen. Zudem sind die Gegenden wenig bewohnt und daher das Wasser von sehr guter Reinheit.

Weiterhin weist man darauf hin, daß in Nordamerika, wenn es zwar eine Reihe sehr großer Wasserkräfte besitzt, doch etwa $^4/_5$ aller erschließbaren Wasserkräfte unter einer Leistungsfähigkeit von 1000 PS. liegen. Für die Nutzbarmachung dieser kleinen Anlagen Geld aufzubringen, fällt heute schwer. Die Banken haben kein Interesse an so un-

1) Engineering News, Dez. 1905 und Zentralbl. d. Bauverw. 1906 Nr. 24.

bedeutenden Unternehmungen, sie können mit eben dem Maß von Arbeitsaufwand eine Million in einem gewerblichen Unternehmen verwalten wie einige Hunderttausende, aber mit zehnmal mehr Nutzen. Die kleinen Wasserkräfte gelten daher als Sache der privaten Ausbeute, nicht eigentlich als »Finanzunternehmen«. Und man verschließt sich schon jetzt auch in Amerika nicht der Erkenntnis, welchen Vorteil gerade die Verwertung der kleinen Kräfte für die Dezentralisierung der Gewerbe mit sich bringen würde. Nordamerika ist heute wohl in der ganzen Welt am ausgeprägtesten das Land der großen wirtschaftlichen Konzentrationen und diese Bewegung ist noch im Wachsen begriffen. Das führt zur Anhäufung großer Menschenmassen in den Städten. Man wird dort die Schäden, die aus diesen Menschenansammlungen entstehen, gewahr und sucht die Menschen zu zerstreuen — dorthin, wo durch natürliche Bodenschätze die Lebensbedingungen gegeben sind oder sich billige mechanische Kräfte vorfinden. Und solche verteilende Eigenschaft glaubt man auch hier in den Wasserkräften zu erkennen, die in Einheiten von 200 bis 500 PS. in großer Zahl über das Land verteilt sind. Diese vielen kleinen Überlandzentralen würden sich gegenseitig unterstützen und damit noch eine gesteigerte Nutzwirkung schaffen. Es gibt Sozialpolitiker in Amerika, die eine Aufschließung dieser Art für vorteilhafter halten als die großen Kraftunternehmungen, zumal wenn die Nutzleistungen dieser großen Anlagen durch elektrische Übertragung entführt werden, ohne befruchtend auf die nächstgelegenen Bezirke zu wirken, die doch den ersten Anspruch darauf haben. Man ist aufmerksam geworden auf die Bestrebungen auf dem Festlande von Europa und besonderes Augenmerk hat Frankreich, Deutschland und die Schweiz auf sich gezogen durch die hier vorhandenen neueren Einrichtungen zur Kleinverteilung der Kräfte über das platte Land. Das wird den Amerikanern heute zum Vorbild.

Auf der anderen Seite stehen aber viele solchen sozialwirtschaftlichen Plänen recht mißtrauisch entgegen. Man bezweifelt, daß die Lebensbedingungen in der kleinen Hausindustrie überhaupt bessere seien als die der Männer, die in gut eingerichteten Fabrikräumen arbeiten. Man befürchtet auch, daß die Güte der Arbeit im Hause leiden würde und sieht diese ganzen Bestrebungen mehr nur als einen eitlen Traum an, dessen Verwirklichung in Amerika noch lange Zeit eine ungelöste Aufgabe bleiben wird[1]).

1) The Eng. Rec. 1905 I S. 478; The Engineering Magazine, April 1905.

H. Deutschland.

Rückblick auf die Entwicklung der neueren deutschen Wasserkraftnutzung.

Es sind mehr als 20 Jahre her, als unter den deutschen Ingenieuren eine lebhafte Bewegung einsetzte, um eine bessere Nutzbarmachung der Wasserkräfte und eine zweckmäßigere Wasserwirtschaft in den Gebirgstälern herbeizuführen. Die derzeitige Wasserkraftnutzung in Deutschland war die denkbar extensivste und ging in regelloser Weise vor sich. Durch unvollkommene Verwertung der Abflußmengen und Gefällhöhen und ihre Zersplitterung wurde gleichsam eine unfruchtbare Raubwirtschaft getrieben. Aber auch die Ungleichmäßigkeit dieser Kraftquelle — ihr Nachlassen oder Versagen in trockner Zeit — erschütterte das Vertrauen und verhalf der zuverlässigeren Dampfkraft selbst in entlegenen Gebirgstälern zum Ansehen.

Die frühere deutsche Wasserwirtschaft im Gebirge beschäftigte sich mit der Regulierung und Festlegung der Bachbetten für den Hochwasserabfluß, mit der Zurückhaltung der Gerölle und Sinkstoffe, mit Ent- und Bewässerungen und sonstigen Fragen der Landesmelioration, jedoch die wirtschaftliche Bedeutung des Wassers für Kraftzwecke fand nur in veralteten Mühlen und Triebwerken eine ungenügende Würdigung. Für diese Frage war kein allgemeines Interesse vorhanden.

Man muß die Vorgänge der achtziger Jahre des abgelaufenen Jahrhunderts auf dem Gebiete dieser Bestrebungen zur besseren Kenntnis der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse verfolgen, um zu ersehen, welch gänzlich unbearbeitetes Arbeitsfeld hier vorlag. An Messungen und Beobachtungen über den Wasserhaushalt im Gebirge war nur ein ganz spärliches Material gesammelt. Mit dem Eifer, den die Erschließung eines neuen, so verheißungsvollen Wirtschaftsgebietes naturgemäß wachrufen mußte, wandte sich damals die wissenschaftliche Forschung den Voruntersuchungen zu unter einem bedeutenden Aufwande an Arbeit, Geld und Zeit. Es galt die notwendigen Unterlagen zu schaffen für die praktische Ausnutzung der Wasserkräfte auf der Grundlage der durch die Fortschritte der neueren Technik gebotenen Mittel.

Die Erweiterung der Kenntnis der Niederschläge und des Abflusses konnte nur durch ein zeitraubendes Studium geschehen. Es

klingt heute selbstverständlich, daß die Planung großer wasserwirtschaftlicher Unternehmungen, deren Kosten Millionen betragen und deren wirtschaftlicher Einfluß weite Kreise berührt, nicht auf Schätzungen und Mutmaßungen erfolgen kann. Man braucht dazu verläßliche Messungsergebnisse. Aber diese Einsicht war leider nicht immer vorhanden, und manche verfehlte Wassergewinnungsanlage zeugt von leichterer Auffassung, die früher bestand.

Einige Mitteilungen über Erfahrungssätze, die sich aus diesen vielseitigen Beobachtungen und Messungen der Wasserverhältnisse in den Gebirgen ergeben haben, finden sich in Abschnitt III A.

Am unteren Laufe unserer Ströme überwiegen die Interessen der Schiffahrt. Das geringe Gefälle würde hier nur in seltenen Fällen die Wasserkraftnutzung wirtschaftlich vorteilhaft machen, und die Anlegung langer seitlicher Betriebskanäle rechtfertigen. Überdies kann es nicht angängig erscheinen, den ohnehin knappen Wasserabfluß der Schiffahrtsstraße in trockner Zeit durch Kraftwasserentnahme noch mehr zu schwächen. Günstiger gestaltet sich diese Sachlage im mittleren Laufe der Flüsse mit ihrem stärkeren Gefälle. Die mehrfach erfolgte Kanalisierung hat hier den Gedanken der Kraftausnutzung an den Staustufen rege werden lassen und zu Vorschlägen geführt, die in Abschn. III E erörtert worden sind. Wenn ein planmäßiger Ausbau im großen bisher zwar noch nicht erfolgt ist, so haben doch mehrfach Einzelanlagen (u. a. Gersthofen, Oder-Spree-Kanal, Mühlendammschleuse in Berlin) in geringerem und größerem Umfange der praktischen Verwirklichung günstig vorgearbeitet und erkennen lassen, daß an den kanalisierten Flüssen die Interessen der Kraftausnutzung und Schiffahrt sehr wohl vereinigt werden können.

Es ist das unvergängliche Verdienst des verstorbenen Geh. Regierungsrats Prof. Dr.-Ing. Intze, diese Bestrebungen zur besseren Ausnutzung der Wasserkräfte in Deutschland in außerordentlichem Maße gefördert zu haben. Jahrelang hat er in Wort und Schrift nachdrücklich und unermüdlich die Bedeutung der Nutzbarmachung der Wasserkräfte im Gebirge verfochten, bis seine Ideen sich zur Anerkennung durchrangen. Er hatte die Entwicklung im Auslande verfolgt und wies mit weitem Blick seinem Vaterlande die Ziele, gleichzeitig gab er aber auch in den Talsperren und in eignen Ausführungen von Wasserkraftanlagen der Technik Mittel und Wege an die Hand zu praktischer und erfolg-

reicher Betätigung. In seinem Namen und seiner Person lag, so lange er unter den Lebenden weilte, der Schwerpunkt dieser immer größer werdenden Bewegung.

Neuere deutsche Wasserkraftunternehmungen.

Es würde hier zu weit führen und es hieße vielfach nur Bekanntes vorführen, wollte man auf die vorstehend skizzierte Entwicklung im einzelnen eingehen. Es sei hier nur erinnert an die zahlreichen Talsperrenanlagen Intzes im Wupper- und Ruhrgebiet, die neben der Trinkwasserversorgung in erster Linie der Kraftgewinnung, teils in zentralen Werken, teils durch Aufhöhung des Niedrigwassers in den Triebwerken dienen, und an die schlesischen Hochwasserschutzbecken von Mauer und Marklissa, die gegenwärtig auch für Kraftgewinnung ausgebaut werden. Das Talsperrensystem der Vogesen, ein Werk Fechts, wurde im wesentlichen ebenfalls für Kraftzwecke geschaffen. Zu gleicher Zeit entstanden eine Reihe großer zentraler Kraftwerke, wie Rheinfelden, Gersthofen, Augsburg, die Isarwerke u. a. m., und in Verbindung mit Talsperren die Überlandzentralen der Stadt Solingen, in Heimbach (Urfttalsperre)[1]) und an der Ennepe (Ruhrgebiet)[1]).

Es ist in den nachstehenden Tabellen 43 bis 46 eine Übersicht der in den beiden letzten Jahrzehnten entstandenen deutschen Talsperren für Kraftzwecke, sowie der neueren bedeutenderen Wasserkraftanlagen gegeben.

In den Abb. 60 bis 63[2]) und 64 bis 66 sind zwei neuere Talsperrenanlagen zur Darstellung gebracht, die der Nutzbarmachung von Wasserkräften dienen. Erläuternd wird dazu bemerkt:

Das neue Wasser- und Elektrizitätswerk der Stadt Solingen im Sengbachtale bei Glüder ist, wie bei Besprechung der Voruntersuchungen in Abschn. IV C näher ausgeführt wurde, eine Anlage für Trinkwasser- und Kraftgewinnung. Das Wasser (Trink- und Kraftwasser) wird gewonnen durch Aufstauung des Sengbaches in Sammelbecken mittelst zwei Talsperren; Kraftwasser ergibt außerdem die Stauung der Wupper. Diesem doppelten Zweck entsprechend gliedert sich die Gesamtanlage in zwei Hauptgruppen (Abb. 60 u. 61), lediglich der Trinkwasserversorgung dient das Vorbecken von 100000 cbm Stauinhalt; lediglich zur Kraft-

1) Siehe S. 84 bis 90.

2) Siehe auch Abb. 5, 7, 14, 15, 21, 26 bis 30, 32, 33 und 47.

Tabelle 43. Stauweiher in den Vogesen[1]).

Nr.	Bezeichnung	Bauausführungsjahre	Hauptzweck der Anlage	Größe des Niederschlagsgebietes qkm	Stauinhalt des Beckens Mill. cbm	Stauhöhe über Talsohle m	Gesamtkosten des Staubeckens mit Nebenanlagen Mk.	Kosten für 1 cbm Stauinhalt einschl. Grunderwerb Pf.	Bemerkungen
1	Ahlfeldweiher .	1883—87	Aufhöhung der Niedrigwasserstände für Kraftzwecke in den Triebwerken und für landwirtschaftl. Bewässerung.	5,2	1,1	23,0	440 000	40	Es können durch den Weiher in den unterhalb gelegenen Triebwerken jährlich 800 000 PS.-Stunden nutzbar gemacht werden. Der Gesamtgewinn fürs Jahr wird für die Industrie zu 25 000 Mk., für die Landwirtschaft zu 50 000 Mk., zus. zu 75 000 Mk. angegeben, so daß eine Verzinsung der Anlagekosten von 17 v. H. vorhanden ist. — Mauer.
2	Altenweiher . .	1886—88	Wie vor.	0,12	0,725	14,1	269 100	37	Mauer. — Der Nutzen der vier Weiher Nr. 2—5 wird für die Sommerperiode angegeben: für die Industrie . . . 32 000 Mk., » » Landwirtschaft. 36 000 » zusammen 68 000 Mk. Die Verzinsung des Anlagekapitals beträgt 11 v. H.
3	Schießrotried. .	1886—91	Wie vor.	0,124	0,325	11,5	146 200	45	Damm.
4	Forellenweiher.	1890—91	Wie vor.	0,09	0,16	10,0	49 300	36	Wiederherstellung eines alten Dammes.
5	Sulzersee	1890—91	Wie vor.	0,06	0,58	9,8	40 600	7	Wie vor.
6	Lauchensee . .	1889—94	Niedrigwasservermehrung für Triebzwecke.	5,5	0,9	20,0	975 000	1,26[2])	Mauer.

1) Zusammengestellt nach den Veröffentlichungen von Fecht, Zeitschr. f. Bauwesen 1889 u. 1893. 2) Ohne Grunderwerb.

Tabelle 44. Talsperrenanlagen in Rheinland und Westfalen[1]).

Nr.	Bezeichnung	Jahr der Bau-ausführung	Hauptzweck der Anlage	Größe des Niederschlags-gebietes qkm	Mittlere Wasserzufluß-menge im Jahr Mill. cbm	Stauinhalt des Beckens Mill. cbm	Stauhöhe über Talsohle m	Kosten der Sperrmauer einschl. Grunderwerb Mk.	Kosten des Staubeckens für 1 cbm Stauinhalt Pf.	Gesamtkosten der Talsperre mit allen Nebenanlagen Mk.	Bemerkungen
	A. Ausgeführte Becken.										
	Wuppergebiet.										
1	Eschbachtal b. Remscheid	1889/91	Wasserversorgung von Remscheid.	4,5	3,6	1,0	18,0	537 000	54	800 000	Mit Erweiterung des Wasserwerkes.
2	Panzertal bei Lennep	1891/93	Wasserversorgung von Lennep.	1,5	1,2	0,117	7,5	105 000	90	105 000	
3	Bevertal bei Hückeswagen	1896/98	Wasserabgabe für die Triebwerke der Wupper u. Hochwasserschutz.	22,0	17,52	3,3	16,0	1 430 000	43	3 050 000	Einschl. der Ausgleichweiher bei Buchenofen und Beyenburg u. Vergrößerg. d. Dahlhauser Weihers.
4	Lingesetal bei Marienheide	1897/98		9,0	8,0	2,6	18,5	1 070 000	41		
5	Salbachtal bei Ronsdorf	1898/99	Wasserversorgung von Ronsdorf u. Abgabe an Triebwerkbesitzer.	0,87	0,65	0,3	19,3	510 000	170	950 000	Mit Wasserwerk.
6	Herbringhausertal b. Lüttringhausen .	1898/00	Wasserversorgung von Barmen.	5,5	4,4	2,5	29,7	2 000 000	80	2 500 000	Mit Filteranlage und Rohrleitung
7	Sengbachtal bei Solingen	1900/02	Wasserversorgung, sowie Kraft- u. Lichtabgabe für Solingen.	11,8	8,0	3,0	36,0	2 100 000	70	4 000 000	Mit Wasser- u. Elektrizitätswerk.
	Ruhrgebiet.										
8	Füelbecke bei Altena	1894/96	Abgabe von Betriebswasser an die Werkbesitzer in der Füelbecke u. Rahmede.	3,5	2,8	0,7	27,0	328 000	43	328 000	
9	Heilenbecke bei Milspe	1894/96	Wasserversorgung von Gevelsberg und Abgabe von Wasser an die Triebwerke.	7,6	5,5	0,45	19,5	280 000	62	400 000	Mit Wasserversorgung von Gevelsberg.
10	Haspertal bei Haspe	1901/03	Wasserversorgung der Stadt Haspe, Wasserabgabe an die Triebwerke im Haspertale und an die Trieb- u. Pumpwerke an der unteren Ruhr.	8,0	6,0	2,05	27,5	1 360 000	66	1 900 000	Mit Wasserversorgung und Wasserleitung.
11	Versetal oberhalb Werdohl	1902/03	Wasserversorgung von Lüdenscheid, Wasserabgabe an die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	4,7	3,7	1,65	23,7	600 000	36	700 000	Mit Wegeanlagen u. Wärterhaus.

12	Hennetal bei Meschede	1901/05	Wasserabgabe für die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	52,7	40,0	9,5	30,4	2 600 000	27	2 600 000	
13	Ennepetal bei Radevormwald	1902/04	Versorgung des Kreises Schwelm mit Wasser u. elektr. Kraft. Abgabe für die Triebwerke an der Ennepe und die Trieb- u. Pumpwerke an der unteren Ruhr.	48,0	36,0	10,0	34,9	2 600 000	26	4 800 000	Großer Grunderwerb um das Becken herum, Wasser- u. Elektrizitätswerk unterhalb d. Sperre nebst Verteilungsnetz.
14	Glörbachtal bei Breckerfeld . . .	1903/04	Wasserabgabe für die Werkbesitzer an der Vollme und die Trieb- u. Pumpwerke an der unteren Ruhr.	7,2	5,5	2,0	27,7	780 000	39	780 000	
15	Östertal bei Plettenberg	1903/05	Wasserabgabe für die Triebwerke im Östertal und die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	12,6	10,5	3,0	31,4	1 100 000	38,3	1 100 000	
16	Jubachtal b. Meinerzhagen	1904/05	Wasserabgabe für die Triebwerke der Vollme und die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	6,6	5,0	1,0	23,2	630 000	63	630 000	
	Rurgebiet (Eifel).										
17	Urfttalsperre bei Gemünd (Eifel) . . .	1900/04	Schaffung einer elektrischen Kraftstation von mindestens 4800 PS. an 7200 Betriebsstunden im Jahre und Hochwasserschutz.	37,5	180,0	45,5	52,5	4 000 000	9	8 500 000	Mit Stollenanlage, Elektrizitätswerk u. Verteilungsnetz.
			Zusammen rund	—	—	88,7	—	22 049 000	25	30 803 000	

B. In Ausführung begriffene und geplante Becken.

	Wuppergebiet.	Beginn									
18	Neyetal	1905	Erweiterung der Wasserversorgung von Remscheid und Wasserabgabe an die Triebwerke an der Wupper.	11,6	9,2	6,0	23,9	1 700 000	28,4	3 250 000	Mit Stollen, Turbinen, Rieselanlagen, Rohrleitungen und Wasserturm.
	Ruhrgebiet.										
19	Nettetal bei Altena .	—	Wasserabgabe für die Triebwerke an der Nette und an die Trieb- u. Pumpwerke an der unteren Ruhr.	4,5	3,6	1,5	24,3	825 000	55	850 000	Mit Ausgleichweiher.
20	Negertal b. Siedlinghausen.	—	Wasserabgabe an die Triebwerke im Negertal und an der oberen Ruhr, sowie für die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	14,0	11,2	4,0	28,0	1 600 000	40	1 600 000	
21	Glennetal	—	Wasserversorgung der Dörfer des Haarstrangs. Anlage einer Kraftstation und Wasserabgabe für die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	14,6	8,0	5,0	29,0	1 800 000	36	4 600 000	Mit Wasserleitung u. Kraftanlage.
			Zusammen rund	—	—	16,5	—	5 925 000	36	10 300 000	

Außer den vorstehenden Becken sind vom Ruhrtalsperrenverein noch eine Reihe von Becken zu gleichem Zwecke wie die vorstehend aufgeführten geplant, darunter das Möhne-Staubecken mit 120 Mill. cbm Fassungsraum.

1) Nach Intze, Talsperrenanlagen, 1904.

Tabelle 45. Talsperrenanlagen im Gebiete des Queis und Bober, der Katzbach und der Glatzer Neiße in Schlesien.

Die Talsperren sind zum Teil fertiggestellt, zum Teil in der Ausführung begriffen oder in Aussicht genommen.

Nr.	Bezeichnung der Talsperre	Bau-ausführungs-jahr	Niederschlags-gebiet qkm	Stau-inhalt Mill. cbm	Stau-fläche ha	Höhe der Sperre über Tal-sohle m	Kronen-länge m	Gesamt-kosten Mk.	Kosten für 1 cbm Stau-inhalt Pf.	Bemerkungen
1	Queis bei Marklissa	1901/4	303,0	15,0	140,0	40,0	130	3 000 000	20,0	Queisgebiet. Mauer. Kraftabgabe 1400 PS. an 12 Stunden.
2	Heidewasser b. Herischdorf	1903/4	92,0	4,0	227,0	8,4	1500	900 000	23,0	Bobergebiet. Erddamm.
3	Bober bei Buchwald. . . .	1904/5	59,0	2,2	77,5	14,6	220	1 100 000	50,0	» Mauer.
4	Bober bei Mauer	1905/9	1210,0	50,0	230,0	48,0	—	7 500 000	15,0	» Mauer. Kraftgewinn 4200 PS. bei 24stündigem Betrieb.
5	Langwasser bei Friedeberg	—	62,0	3,4	85,0	11,4	600	500 000	18,0	Queisgebiet. Erddamm.
6	Zacken bei Warmbrunn. .	1906	120,0	6,0	197,0	7,0	3000	1 600 000	30,0	Bobergebiet. Erddamm.
7	Zieder bei Grüssau	1905	57,0	0,94	64,0	4,75 6,35	465 320	400 000	43,0	» Zwei Becken übereinander. Erddämme.
8	Lomnitz bei Krummhübel .	—	11,0	0,54	7,9	29,0	254	650 000	120,0	Bobergebiet. Mauer.
9	Schweinlich bei Weißbach	—	37,0	0,525	20,0	6,5	370	250 000	48,0	» Erddamm.
10	Lomnitz bei Zillertal . . .	—	50,0	2,34	—	8,5	1200	600 000	26,0	» »
11	Katzbach bei Kauffung . .	—	19,0	0,68	—	—	150	265 000	39,0	Erddamm.
12	Steinbach bei Schönau . .	—	39,0	1,57	—	20,2	130	316 000	20,0	Mauer.
13	Rödersdorfer Wasser . . .	—	18,0	0,48	—	11,0	160	170 000	36,0	Erddamm.
14	Kleine Neiße	—	51,0	0,90	—	12,2	130	300 000	34,0	»
15	Mohre bei Seitenberg . . .	1905/6	51,5	0,92	—	15,8	483	255 000	28,0	»
16	Wölfelsgrund	1905/6	25,0	0,91	—	25,4	108	500 000	55,0	Mauer. Nutzwasserraum.

Diese 16 Becken mit zusammen rund 90 Mill. cbm Stauraum sperren ein Niederschlagsgebiet von 2203 qkm ab. Sie dienen in erster Linie dem Hochwasserschutz. Einige Becken sollen daneben auch der wirtschaftlichen Ausnutzung von Wasserkräften dienen, und es stehen von dem ganzen Stauraum für letzteren Zweck 25,3 Mill. cbm zur Verfügung. Hiervon entfallen auf die Becken von Marklissa und Mauer 5 und 20 Mill. cbm Nutzwasserraum.

Tabelle 46. Harztalsperren.

Ort	Größe des Niederschlagsgebietes qkm	Stauinhalt Mill. cbm	Nutzgefälle m	Leistung PS.	Anlagekosten der Talsperre Mill.Mk.	Bemerkungen
1. Ausgeführte Anlage.						
Nordhausen . .	5,7	0,770	192	100 *)	0,420	Die Anlage dient zugleich der Trinkwasserversorgung. — *) Tag und Nacht; in max. 170 PS.
2. Entwürfe.						
Okertalsperre .	87,0	27,0	48 bzw. 244	1 200 *) bzw. 3 000 **)	6,1	*) In einem zentralen Kraftwerk an der Talsperre. **) In den Triebwerken unterhalb der Talsperre.
Eckertalsperre .	—	7,5	150	1 400	4,5	
Radautalsperre .	18,0	4,0	140	1 000	—	
Bodetalsperre. .	—	—	199	27 000	—	Während 10 Stunden täglich.

gewinnung das Wehr in der Wupper (Abb. 5 u. 14). Das durch die große Sperrmauer von 43 m Höhe gebildete Hauptbecken von etwas mehr als 3 Mill. cbm Fassungsraum (Abb. 62 u. 63) erfüllt beide Zwecke; es liefert in der trocknen Jahreszeit die Wasserversorgung der Stadt und gibt in Verbindung und in Ergänzung mit der gestauten Wupper die erforderliche Kraft, um das Trinkwasser aus dem Tale nach dem Hochbehälter bei Solingen zu heben, von wo sich dasselbe in das Rohrnetz der Stadt verteilt. In der hierdurch gebotenen Möglichkeit, die Hebung des Trinkwassers allein durch Wasserkraft — unter Ausschluß des Dampfes — zu bewerkstelligen, liegt bei der schwierigen Zugänglichkeit des Pumpwerkes ein besonderer Vorzug der Anlage (Abb. 47).

Die in dem Gefälle des gestauten Wassers nutzbare Kraft wird durch diese Arbeitsleistung nicht aufgebraucht; es ist darüber hinaus ein Vorrat an Wasserkraft vorhanden, welcher in elektrische Energie umgewandelt wird. Aus diesem Grunde sind in dem Maschinengebäude an der Wupper neben den Einrichtungen für Wasserhebung Dynamomaschinen aufgestellt (Abb. 28).

Sämtliches Trinkwasser wird vor seiner Verwendung gereinigt. Dies geschieht teils durch Rieselwiesen, teils durch Sandfilter (Abb. 60).

Tabelle 47. Neuere Wasserkraftunternehmungen in Deutschland[1]).

Ort	Jahr der Betriebseröffnung	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung Entfernung km	Kraftübertragung Spannung Volt	Verwendung Ü.-Z. = Überlandzentrale K. u. L. = Kraft und Licht	Einheit der Turbinenzahl × PS.	Bemerkungen
Rheinfelden	1898	2,8—4,9	16 800	—	6 800	Elektrochemische Zwecke und Überlandzentrale.	20 × 840	Seit 1902 Ergänzung durch eine Dampfanlage (2000 PS.), deren Erweiterung geplant ist.
Gersthofen	1899	10—10,5	6 000	16	5 000	Elektrochemische Zwecke, K. u. L.	4 × 1500	
Augsburg (am Stadtbach)	1902	6—7,5	3 100	2	3 000	Kraft für Spinnereibetrieb.	1 × 900 2 × 1100	
Untertürkheim (Neckar)	1901	28	720	0,300	3 000	K. u. L.	3 × 240	600 PS. als Dampfaushilfe.
Crottdorf (Sachsen)	1900	—	1 360	—	7 000	K. u. L.	—	Überlandzentrale für 30 Ortschaften. Mit Dampfaushilfe.
Dahlerau-Schlenke (Wupper)	1899	—	1 200	—	—	Ü.-Z. für 3 Städte und 15 Höfe.	—	Mit Dampfaushilfe.
Dachau (Bayern)	1897	—	400	—	2 600	Elektrizitätswerk.	—	Mit Dampfaushilfe.
Eisenfurt (Württemberg)	1900	—	440	—	3 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Isarwerke	1895	—	7 400	—	10 000 und 5 000	Ü.-Z. für 30 Orte. K. u. L.	—	Zwei Zentralen mit 2000 PS. Dampfaushilfe.
Kempten (Bayern)	1901	—	600	—	—	Städtisches Elektrizitätswerk.	—	Mit Dampfaushilfe.
Lauffen-Heilbronn (Württbg.)	1892	—	1 600	—	—	Für die Zwecke eines Zementwerkes.	—	Mit Dampfaushilfe.
Lausitzer Elektrizitätswerk	1901	—	1 000	—	6 000 und 3 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
München (städt.)	1893	—	8 300	—	5 000	Städtisches Elektrizitätswerk.	—	Die Wasserkraft beträgt 650 PS.
Marbach (Neckar)	—	2,7—3,2	1 440	20	11 000	Ü.-Z.	4 × 360	
Borstendorf (Sachsen)	—	7,7	1 000	—	5 000	Papierfabrik. Spinnereibetrieb.	—	Mit Dampfaushilfe.
Albbruck (Schwarzwald)	Um 1900	48	1 080	—	—	Papierfabrik.	2 × 500	Zuleitungsstollen von 1410 m Länge.
Elektrische Bahn Murnau-Oberammergau	Um 1900	—	1 060	24	5 000	Eisenbahnbetrieb, Beleuchtung u. Werkstättenbetrieb.	—	Die erste größere Bahn mit elektrischem Betrieb.
Hirschau bei München	—	4,4	1 000	—	—	Elektrische Energie für Kraft u. Licht.	3 × 335	
Neckarwerke Altbach-Deizisau	1901	—	2 400	120 (Netz)	10 500	Ü.-Z.	3 × 400	Wasserkraft 1200 PS. Dampfkraft 1200 »
Pfaffenhoven a. Ilm	1899	—	500	70 (Netz)	3 600	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Plettenberg i. Westf.	1898	—	1 900	—	10 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Lechbruck	1899	5	2 000	—	—	Umwandlung in elektr. Energie.	—	
Bad Reichenhall (Bayern)	1890	—	500	9	2 000	Städtisches Elektrizitätswerk.	—	Wasserkraft 250 PS. Dampfkraft 370 »

Rosenheim	1896	—	1 040	—	2 000	Städtisches Elektrizitätswerk.	—	680 PS. als Dampfaushilfe.
Schwandorf	1895	—	400	—	2 000	Elektrizitätswerk.	—	
Bergisch.Elektr. Werk (Wupper)	1898	—	2 200	95 (Netz)	6 000 und 3 000	Ü.-Z. für K. u. L., zum Teil Bahnzwecke.	—	Mit Dampfaushilfe.
Wangen i. Allgäu	1893 und 1898	—	700	—	5 000	Ü.-Z.	—	Zwei Zentralen.
Zell i. Wiesental (Baden)	1899	—	1 250	—	5 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Heimbach (Eifel)	1905	70—110	12 000	30	35 000	Ü.-Z. für K. u. L.	8 × 1500 2 × 250	Mit Sammelbecken von 45 Mill. cbm Stauinhalt.
Solingen	1902	5 bzw. 50	1 200	6	5 000	Ü.-Z. für K. u. L. Wasserhebung.	4 × 300	Mit Sammelbecken von 3 Mill. cbm Stauinhalt. 600 PS. werden aus der Wupper gewonnen, 600 PS. werden aus der Talsperre gewonnen.
Ennepetalsperre	1905	35	720	16	20 000	Wie vor.	3 × 250	230 PS. für Wasserhebung, 490 » » elektrische Kraft. An den Triebwerken werden außerdem 900 bis 1000 PS. gewonnen.
Nordhausen	1906	192	100	3	550	Versorgung des Bahnhofs Nordhausen mit K. u. L.	2 × 84	100 PS. stehen Tag und Nacht zur Verfügung. Höchstleistung 170 PS.
Berchtesgaden	—	150	60	—	—	Lichtzwecke im Salzbergwerk und Wasserhebung.	35 u. 25	
Kehl (Rhein)	1900	2,50	1 200	—	—	K. u. L. Bahnhofs- und Hafenbetrieb.	4 × 250	Staatlich betriebenes Wasserkraftwerk (Baden).
Remscheid	1891	25	85	—	—	Wasserhebung.	60 u. 25	Dampfverstärkung.
Kraftgewinn der Triebwerke am Doller (Vogesen)	1888	100 (Gesamtgefälle)	rd. 130	—	—	Nutzung in mechanischen Triebwerken.	—	An 7200 Stunden im Jahr. Kraftgewinn durch Aufhöhung des Niedrigwassers aus dem Ahlfeldweiher (1,1 Mill. cbm Stauinhalt).
Kraftgewinn der Gruppe Altenweiher-Schießrotried(Vogesen)	1889	81 (Ges.-Gef.)	rd. 140	—	—	Wie vor.	—	Kraftgewinn durch Aufhöhung des Triebwassers an 7200 Stunden im Jahr aus vier Becken mit zusammen 1,8 Mill. cbm Stauinhalt.
Kraftgewinn in den Triebwerken an der Wupper	1896	202 (G.-Gef.)	1 000	—	—	Wie vor.	—	Näheres vgl. Abschn. IV B.

Bem. Die Statistik nach dem Stande vom 1. April 1905 gibt für Deutschland 375 öffentl. Elektrizitätswerke mit einer Gesamtleistung von rd. 107 800 PS. an, die mit Wasserkraft und zum Teil mit anderweitiger Kraftaushilfe betrieben werden[2]). — Bei der Gewerbezählung vom Jahre 1895 wurden als Kraftleistung der im Gewerbe verwendeten Motoren unter der Annahme regelmäßigen Betriebes rd. 3 428 000 PS. festgestellt. Von diesen Betriebskräften lieferte der Dampf 79,4 v. H., das Wasser (629 000 PS.) 18,4 v. H., beide Betriebsarten zusammen also 97,8 v. H. aller Betriebskräfte unserer Fabriken[3]). — In Preußen waren 1898 vorhanden: 19 567 Wasserkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 219 500 PS. Die mittlere Einzelleistung der Werke betrug 11,2 PS. An Dampfkraftwerken waren 35 346 im Betriebe mit 1 915 822 PS. Gesamtleistung und 54,2 PS. mittlerer Einzelleistung[4]). Die Statistik nach dem Stande vom 1. April 1905 gibt für alle Dampfmaschinen in Preußen (mit Ausnahme der Eisenbahnlokomotiven und der vom Landheer und der Kriegsflotte benutzten Maschinen) eine Leistungsfähigkeit von rd. 5 440 000 PS. an.

1) Zum Teil nach der Statistik der E. T. Z. 1906. 2) E. T. Z. 3) W. Müller, Francis-Turbinen. 4) Statistik des Deutschen Reiches.

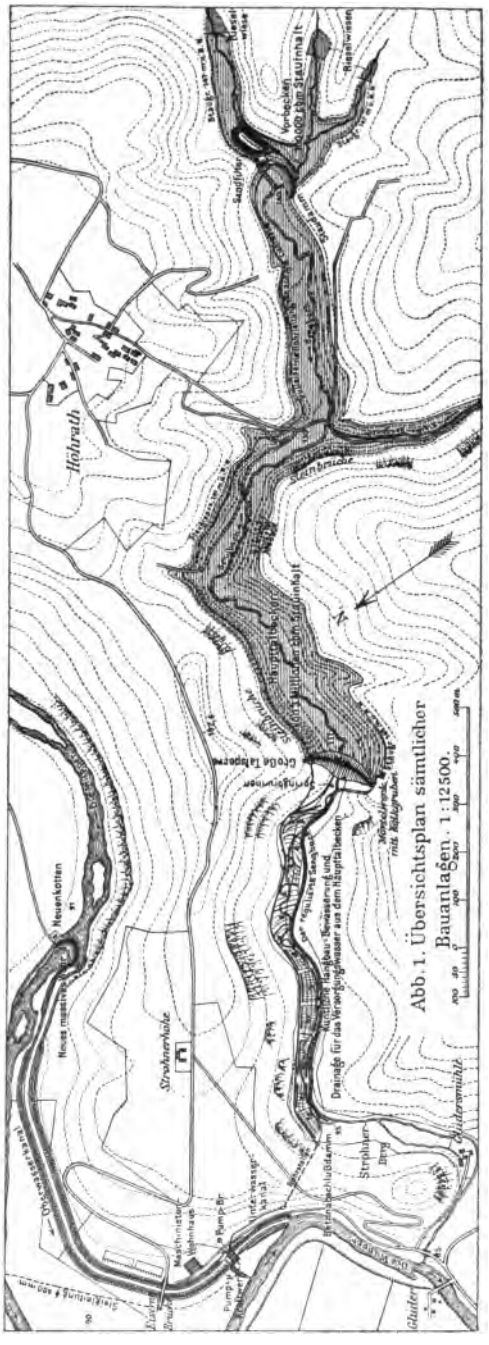


Abb. 60. Lageplan der Talsperren- und Wasserkraftanlage der Stadt Solingen.

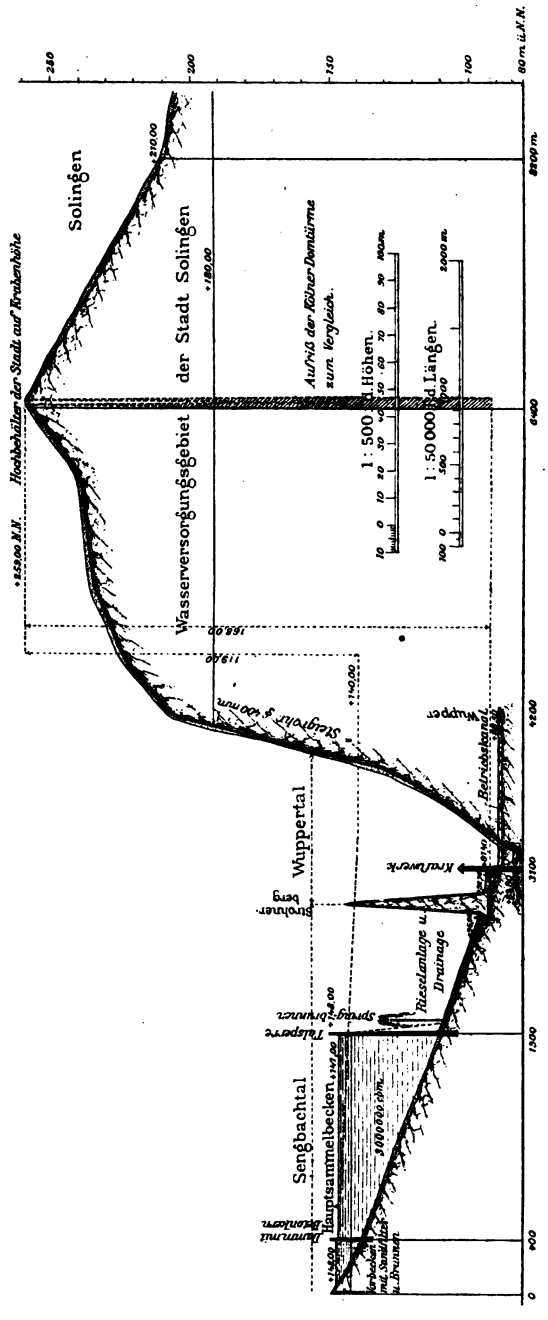


Abb. 61. Höhenplan der Talsperren- und Wasserkraftanlage der Stadt Solingen.

Der zukünftige größte Jahresbedarf der Stadt an Trinkwasser ist mit 2000000 cbm in Ansatz gebracht; außerdem werden jährlich rund 4000000 Pferdekraftstunden gewonnen, wovon 1600000 Pferdekraftstunden für die Wasserhebung verbraucht werden, während nach elektrischer Fernleitung auf 6 km bei nur 70 v. H. Nutzwirkung rd. 1700000 Pferdekraftstunden in Solingen für elektrische Zwecke verfügbar sind.

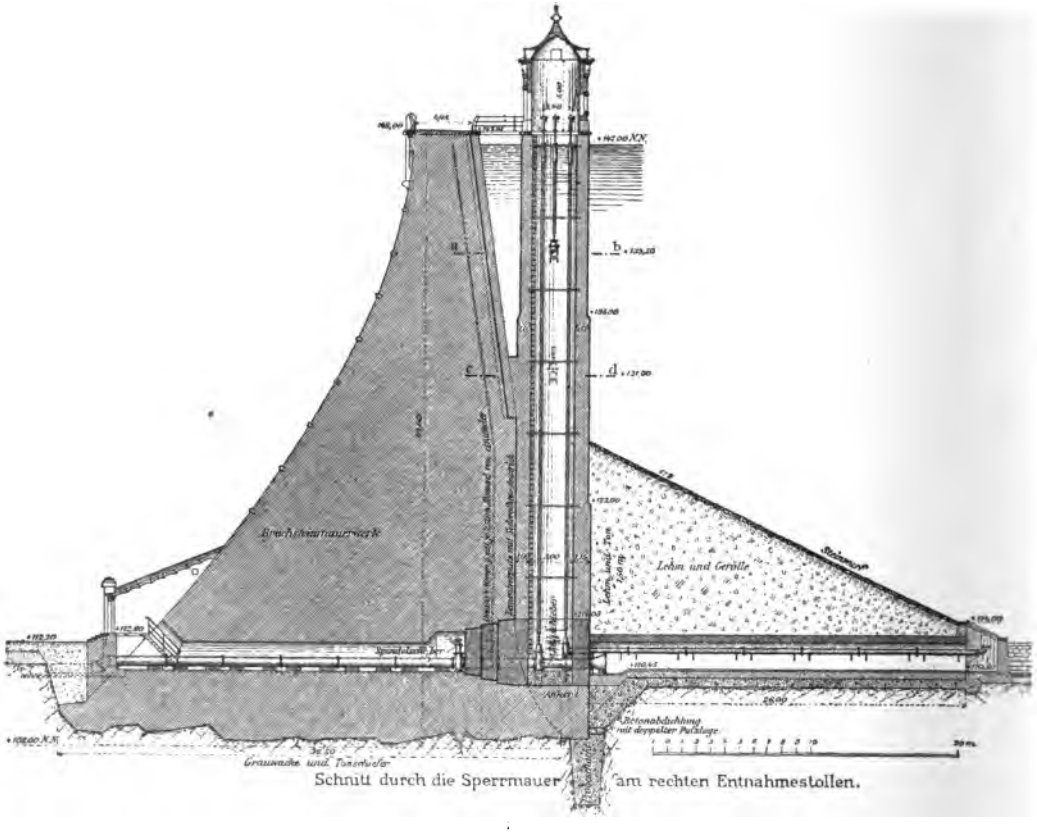


Abb. 62. Querschnitt der 43 m hohen Solinger Talsperre mit Entnahmeturm und Rohrstollen für die Trinkwasser- und Kraftwasserrohre.
Mittleres Gefälle nach den Turbinen 50 m.

Die Leistungsfähigkeit für Trinkwasser ist 10000 cbm am Tage; zeitweilig stehen für Kraftleistung 1200 Pferdekräfte zur Verfügung, davon 600 Pferdekräfte für die Pumpen, 600 Pferdekräfte für die Dynamomaschinen.

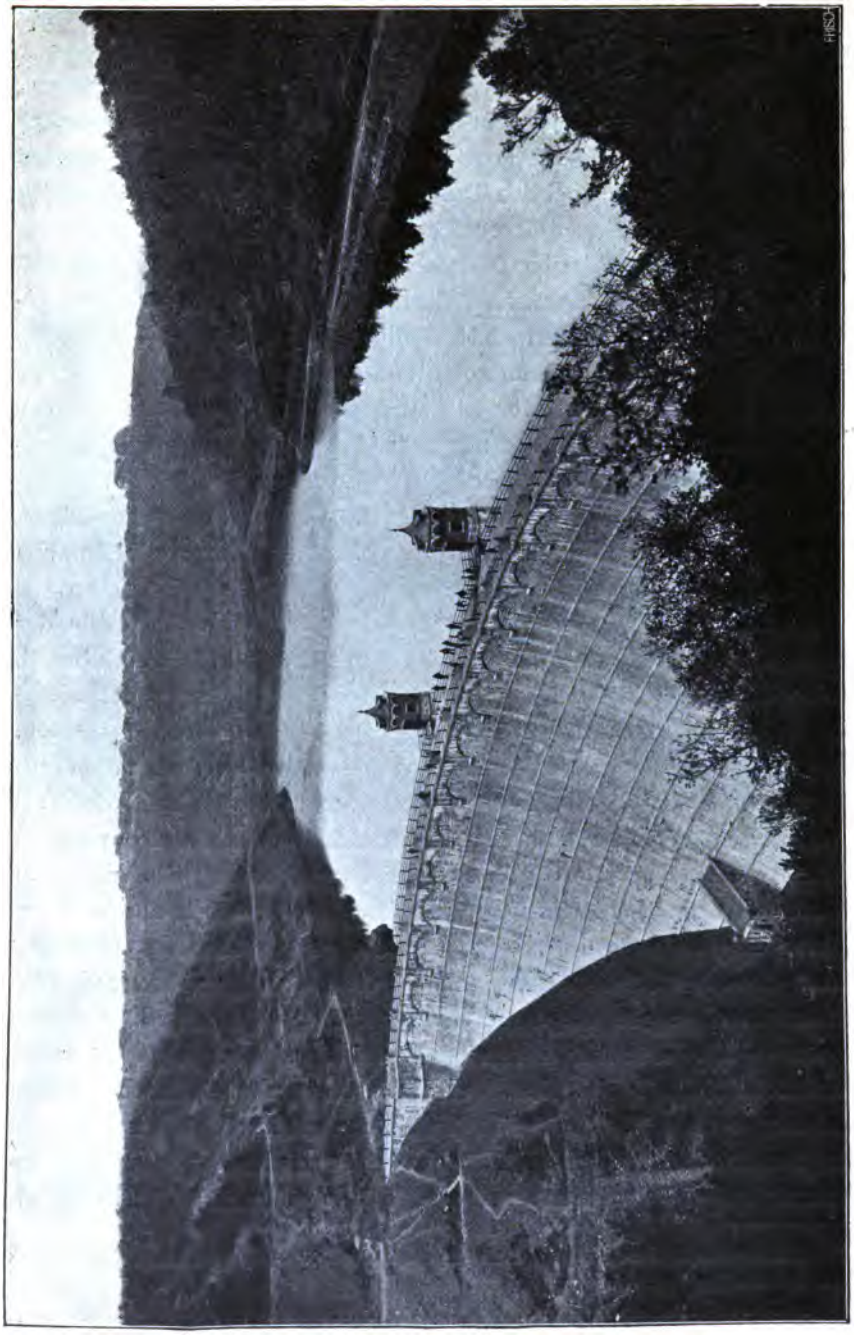


Abb. 63. Die Talsperre im Sengbachtale für die Trinkwasser- und Kraftversorgung der Stadt Solingen.

Die Gesamtanlagekosten mit Grunderwerb und Elektrizitätswerk betragen 4062000 Mk.

Das Elektrizitätswerk wurde im Jahre 1903 in Betrieb genommen. Entwurf und Oberleitung lag in den Händen des Geh. Regierungsrates Prof. Dr.-Ing. Intze. Die örtliche Bauleitung bei den Maschinenanlagen hatte Direktor Klose, bei den Talsperren, hydraulischen und sonstigen Bauanlagen der Verfasser dieser Schrift[1]).

Anfänglich waren im Kraftgebäude an der Wupper 4 Turbinen aufgestellt von je 300 PS. mittlerer Leistung, und zwar 2 Niederdruckturbinen für 5 m Gefälle und 2 Hochdruckturbinen für 50 m mittleres Gefälle, davon diente je eine dem Pumpen- und elektrischen Betrieb (Abb. 26 u. 27). Bereits im zweiten Betriebsjahre wurde infolge des ständig steigenden Stromverbrauchs und aus Gründen einer gesteigerten Betriebssicherheit der Einbau einer dritten Wupperturbine von 355 eff. PS. für elektrische Energieerzeugung beschlossen. Mit dem Einbau dieser Turbine war die Wasserkraftanlage voll ausgebaut und die Verwaltung sah sich genötigt, ihr Augenmerk auf die Erweiterung der Betriebsmittel durch eine Dampfzentrale zu richten. Da die Stadt Solingen in der Straßenbahnzentrale ein mit Dampf betriebenes Elektrizitätswerk besaß, so konnte durch eine Kabelvereinigung dieser beiden Werke, deren Entfernung etwa 7 km beträgt, eine gegenseitige Aushilfe geschaffen werden. Die Bahnzentrale wurde zu diesem Zweck in eine Umformerstation umgewandelt, in der der hochgespannte Drehstrom (5300 Volt) des Talsperrenkraftwerkes für den Straßenbahnbetrieb in Gleichstrom umgeformt wird. So gelang es, die geringe Tagesbelastung des Werkes in Glüder zu vergrößern und die Wasserkraft zweckmäßiger auszunutzen. Gleichzeitig wurde, um im Falle von Wassermangel eine Unterstützung des hydro-elektrischen Werkes zu ermöglichen, im Dampfwerk die Maschinenanordnung so umgeändert, daß der dort aufgestellte Drehstrommotor — als Generator wirkend — das Hochspannungsnetz für Kraft- und Lichtzwecke speist. Die Wasserkraftanlage wird dadurch um eine Leistung von 100 KW. verstärkt. Zum weiteren Ausgleich des Wechsels im Strombedarf ist die im Dampfwerk vorhandene Akkumulatorenbatterie auf die doppelte Leistungsfähigkeit gebracht[2]). Das Kabel-

1) Eingehende Beschreibung: Zeitschr. für Bauwesen 1904. S. auch Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1906 S. 732.

2) Über die Betriebsergebnisse des Werkes s. Abschn. IV B.

netz hat im Jahre 1905 ebenfalls eine bedeutende Erweiterung erhalten[1]).

Wie in dieser Solinger Anlage, so hat auch in dem nachstehend beschriebenen Werk sich in günstiger Weise eine Betriebsgemeinschaft zwischen einer Wasserkraft- und Dampfzentrale schaffen lassen.

Die Talsperre der Stadt Nordhausen a. Harz im Tiefentale bei Neustadt u. H. (Abb. 64 u. 65) erfüllt wie die vorbeschriebene Anlage den doppelten Zweck der Trinkwasserversorgung und der Kraftgewinnung.

Abb. 64. Die Talsperre der Stadt Nordhausen im Bau. September 1904.

Das Staubecken, das durch eine rd. 28 m hohe Sperrmauer abgeschlossen wird, hat einen Stauraum von 770000 cbm und eine mittlere Zuflußmenge von 3 Mill. cbm im Jahre[2]). Das von der Talsperre nach der Stadt Nordhausen vorhandene Gefälle ist am Hochbehälter in der Nähe der Stadt gebrochen und unmittelbar oberhalb dieses Hochbehälters ist das

1) Nach Angaben der Direktion der städt. Wasser- und Elektrizitätswerke.

2) Zur Ergänzung der Tabelle 3 auf Seite 20 sind nachstehend die wesentlichsten Messungsergebnisse im Abflußjahr vom 1. Okt. 1904 bis 30. Sept. 1905 mitgeteilt. Es betrug

die Jahresniederschlagshöhe	941,4 mm
die Jahresniederschlagsmenge	5 130 000 cbm
die Jahresabflußmenge	2 994 700 »
der Abflußkoeffizient	0,58.

Kraftwerk angelegt, das ein Gefälle von 192 m ausnutzt und für eine Leistungsfähigkeit bis 170 PS. ausgebaut ist. Es ist dies, soviel bekannt, das größte bisher in Deutschland nutzbar gemachte Gefälle. Das Kraft- und zugleich Trinkwasser wird der Turbine durch eine 11 km lange Rohrleitung von 40 cm l. W. zugeführt (Abb. 66). Die Abströmung aus der Turbine erfolgt nach dem Hochbehälter, von wo aus sich das Wasser in das Leitungsnetz der Stadt verteilt. Zwischen dem Kraftwerk und dem Hochbehälter ist die Möglichkeit der Einschaltung eines Filters offen gehalten, falls die Reinigung des Talsperrenwassers für Trinkzwecke, die wegen der Bewaldung des Niederschlaggebietes und der

Abb. 65. Die Talsperre der Stadt Nordhausen am Harz für Trinkwasser- und Kraftgewinnung.

vorzüglichen Beschaffenheit des zufließenden Wassers gegenwärtig unterbleibt, später etwa notwendig werden sollte.

In dieser doppelten nacheinander geschalteten Ausnutzung des Wassers für die beiden Zwecke der Trinkwasser- und Kraftgewinnung liegt die Eigenart der getroffenen Anordnungen. Die Kraft wird in elektrische Energie umgesetzt und dient im Verein mit einem in Nordhausen vorhandenen Dampf-Elektrizitätswerk zur Beleuchtung des Staatsbahnhofes Nordhausen, für Straßenbahnbetrieb und für Kraft- und Lichtzwecke.

Die Talsperrenanlage ist im Herbst 1905 fertiggestellt und in Betrieb genommen. Der Bau erfolgte unter der Oberleitung des Verfassers, die örtliche Bauleitung hatte Regierungsbaumeister a. D. Michael

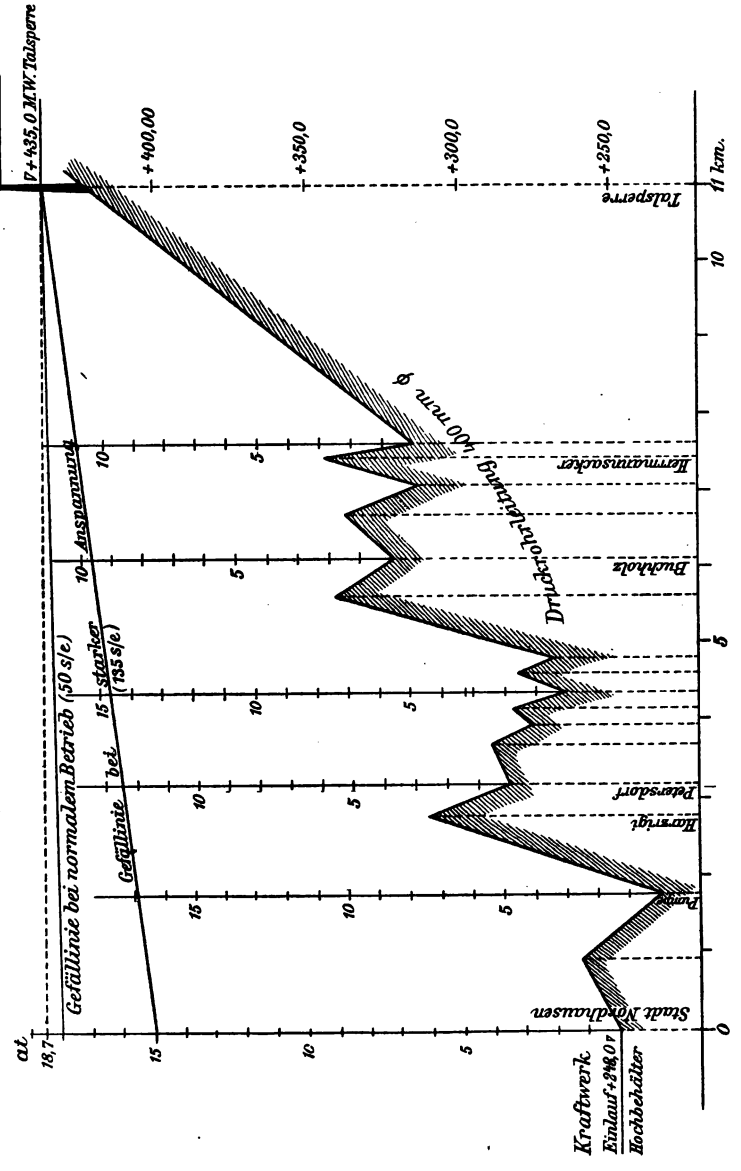


Abb. 66. Höhenplan der Druckrohrleitung von der Talsperre zum Kraftwerk der Stadt Nordhausen am Harz.
Länge der Rohrleitung: 11 km. Größtes Gefälle: 192 m.

Leitende Gesichtspunkte für die deutsche Wasserkraftnutzung.

Es darf nicht wundernehmen, daß in den ersten Jahren dieser Bestrebungen für die bessere Nutzbarmachung der Wasserkräfte eine Gegenströmung entstand. Man sprach von »überschwenglichen Hoffnungen« und von einer »Übertreibung des hohen wirtschaftlichen Wertes der Wasserkräfte« und bezweifelte überhaupt das Vorhandensein der nötigen Wasserkräfte für den Bedarf des Großbetriebes. Indem man die so ungewöhnlich günstig nutzbaren und reichen Wasserkräfte Amerikas zum Vergleich heranzog, suchte u. a. Riedler[1]) nachzuweisen, daß selbst unter jenen vorteilhaften Umständen die Dampfkraft sich billiger stellte und der Wasserkraft überlegen ist. Man folgerte daraus weiter, daß unter unseren deutschen Verhältnissen nur in Ausnahmefällen der Boden für Wasserkraftanlagen gegeben sei. Die Riedlersche Auffassung hätte bei der alten Gebundenheit der Wasserkräfte an abgelegenen, wirtschaftlich bedeutungslosen Plätzen vielleicht Recht bekommen. Aber die überraschende Entwicklung der elektrischen Fernübertragung hat heute diese Anschauungen widerlegt. Man darf allerdings nicht so weit gehen, von einer wirtschaftlichen Umwälzung durch die Ausnutzung der Wasserkräfte zu sprechen. Aber die Tabelle 47 erweist es, daß auch in Deutschland ansehnliche Kraftgrößen erschlossen werden können, die neben der Dampf- und anderer Wärmekraft den wachsenden Bedarf nach mechanischen Arbeitsleistungen decken helfen.

Allgemeine Gesetze der Erkenntnis müssen die Richtung für ein systematisches Vorgehen angeben. Darum darf man sich die Frage vorlegen, welche leitenden Gesichtspunkte die zwanzigjährige Bewegung für die Nutzbarmachung der Wasserkräfte hat erkennen lassen.

Es ist ihr Verdienst, die Aufmerksamkeit der Allgemeinheit auf die Wasserwirtschaft im Gebirge und ihren Zusammenhang mit einer einheitlichen Wasserwirtschaft der ganzen Stromgebiete hingewiesen zu zu haben. Neben der Bedeutung der Wasserläufe für das Meliorationswesen und die Schiffahrt, ist das wirtschaftliche Moment der produktiven Arbeit des Wassers in den Vordergrund gerückt. Die Wasserläufe verlangen nicht nur Aufwendungen zu ihrer ordnungs-

1) Studien über Kraftverteilung, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1892.

mäßigen Erhaltung; man hat gelernt, neue Werte aus ihnen zu gewinnen und mechanische Leistungen zu erschließen, die in der Landwirtschaft, Industrie und für die Schiffahrt wertvolle Verwendung finden können. Das Wesen der elektrischen Kraftübertragung und -verteilung ist auch bei uns mehr erkannt und damit hat man das eigentliche Wirtschaftsgebiet der Wasserkräfte gefunden.

Die Erfahrung hat aber auch gelehrt, daß die Absatzmöglichkeit einer im Gebirge oder an den Wasserläufen neu erschlossenen Kraft nicht immer ohne weiteres gegeben ist. Wenn in den Tälern am Rhein die Wasserkräfte leichten Absatz finden und immer neue Wasserkraftunternehmungen von diesem lebhaften Bedarf Zeugnis ablegen, so darf man in anderen gewerblich weniger entwickelten Gegenden Deutschlands darauf nicht immer sogleich rechnen. Eine Reise durch das industriereiche bergische Land und durch die Vorgebirgsbezirke des Riesengebirges im Hirschberger Tale regt in dieser Hinsicht unwillkürlich zu vergleichenden Betrachtungen an. Beide Gegenden haben in dem Aufbau ihrer Berge und Täler mit ihren Wasserläufen viel Ähnlichkeit miteinander. Die landwirtschaftliche Ertragfähigkeit scheint auf gleicher Höhe zu stehen. Wie aber grundverschieden ist das Bild des sonstigen Wirtschaftslebens. Im bergischen Land das Bild reichster gewerblicher Betätigung und eines guten Wohlstandes — im Hirschberger Bezirk der rein landwirtschaftliche Betrieb: einzelne Güter, dazwischen die große Zahl kleiner einfacher, um nicht zu sagen dürftiger Wohnstätten. Dort hat die Bevölkerung verstanden, die natürlichen Wasserkräfte der gewerblichen Arbeit nutzbar zu machen. Die gleiche Quelle des Wohlstandes bieten die Wasserkräfte im Vorlande des Riesengebirges. Nur ist hier der Gedanke, durch ihre Verwertung die Grundlage zu gewerblichem Leben zu schaffen, noch kaum aufgekommen. Die Nachfrage nach mechanischen Arbeitsleistungen ist hier noch gering und dies legt einer kräftigen Entwicklung der Wasserkraftnutzung im engeren Bezirk Hemmung an. Ähnlich krankt der Kraftabsatz in anderen Gegenden, wo die Erschließung der Wasserkräfte das Einflußgebiet wirtschaftlich noch wenig vorbereitet findet. Der Absatz mechanischer Kräfte erfordert eine betriebstätige Bevölkerung, in der der Sinn für gewerbliche Arbeit und industrielle Unternehmungen geweckt ist. Wir haben im Westen Deutschlands das zur Intensität gesteigerte Erwerbsleben einer dichten Bevölkerung, im Osten aber noch patriarchalische Anschauungen und

das Hängen an Altgewohntem. Es ist in dieser Hinsicht nicht uninteressant, die französischen Verhältnisse zum Vergleich heranzuziehen, wie sie Salvador schildert (s. Abschnitt Frankreich). Jedenfalls sollten auch wir bemüht sein, für den steigenden Kraftbedarf der Landwirtschaft, die Beleuchtung der Wirtschaftsräume, den Betrieb der Kleinmaschinen, der Dresch- und Häckselmaschinen, Holzsägemaschinen, Schleifsteine, Buttermaschinen, Maschinen zur Erzeugung künstlicher Kälte u. a. m. die Wasserkräfte heranzuziehen. Der große Vorteil, den der Elektromotor der Industrie bietet — stete Arbeitsbereitschaft, einfache Bedienung, leichte Transportfähigkeit u. a. m. — kommt auch in den landwirtschaftlichen Betrieben zur Geltung.

Wo aber unter solchen ungünstigen Umständen am Gewinnungsort einer Wasserkraft oder in der unmittelbaren Nähe Absatz nicht zu finden ist, da sollte man nicht scheuen, weitere Übertragungsstrecken in Betracht zu ziehen, wie sie das Ausland mit Vorteil anwendet. Es scheint, daß auf dem Gebiet der elektrischen Fernleitung der Wasserkräfte unser Unternehmungsgeist leider noch zurücksteht. Wenn nach den Aufrechnungen vom Jahre 1897 an der Saar — inmitten eines Kohlenbezirkes — sich die Wasserkraft mit Dampfaushilfe bei 20 km Fernübertragung noch wesentlich billiger als die reine Dampfkraft stellte (Abschn. IV C), so kann man heute in andern, nicht mit Kohlenlagern ausgestatteten Landesteilen und bei den infolge der Vervollkommnung der Technik verringerten Verlusten der Übertragung sicherlich auf die doppelte Entfernung und mehr gehen und wird trotzdem mit städtischen, dampfbetriebenen Elektrizitätswerken wettbewerbfähig bleiben.

Der Gedanke, die Wasserkräfte in größerem Umfange für Staatszwecke nutzbar zu machen, ist neuerdings auch in Deutschland in Anregung gebracht. Einzelkraftanlagen, die staatlichen Zwecken dienen, sind heute schon vorhanden. Es sei hier erwähnt das Kraftwerk am Hafen bei Kehl a. Rh., das in badischer Verwaltung steht und der Bahnhofsbeleuchtung und dem Hafenbetrieb in Kehl dient. Ein weiteres Beispiel ist das oben beschriebene Talsperren-Kraftwerk der Stadt Nordhausen a. H. Bayern aber beabsichtigt nach neueren Nachrichten Beschlag auf die oberbayrischen Wasserkräfte zu legen. Die natürlichen, in den Seen vorhandenen Ausgleichweiher und die hohen Gefälle lassen dort so bedeutende Kraftleistungen erschließen, daß man plant, damit den elektrischen Betrieb aller südbayrischen Bahnen zu versorgen.

Das würde einen bedeutenden Schritt auf dem Wege zur Verstaatlichung der Wasserkräfte in Deutschland bedeuten.

Aus der Tabelle 47 ist ersichtlich, daß schon heute die Wasserkraftausnutzung im Betriebe deutscher Bahnen Fuß gefaßt hat und ihre Bedeutung für den Schiffahrtsbetrieb in Deutschland ist in Abschn. III E erörtert worden.

Die Wasserkraftunternehmungen sind meist von großer wirtschaftlicher Tragweite, sie umfassen bei den neueren Talsperrenanlagen oft das Interesse eines ganzen Flußgebietes. Die Kraft des Einzelnen reicht darum nicht aus, um solche Werke ins Leben zu rufen. Oft auch hat der Einzelne nicht den Bedarf für die ganze gewonnene Kraft. Die Verteilung auf viele Schultern erleichtert die Last. Man hat deswegen den Weg der Genossenschaftsbildung eingeschlagen. In einem solchen Vorgehen liegt zugleich das wirtschaftliche Gesetz der Verbilligung der Einheitskosten, wie in jeder Großunternehmung. Langwierige Verhandlungen bei den Vorarbeiten für die ersten deutschen Unternehmungen dieser Art haben erwiesen, daß diese Aufgabe im allgemeinen nicht im Wege des freiwilligen Zusammenschlusses der Nächstbeteiligten gelöst werden konnte, sondern daß nur zwangsweise Vereinigung zu Genossenschaften auf gesetzlicher Grundlage und Mehrheitsbeschlüsse zum Ziele führten. Die Gesetzgebung hat daher wiederholt in diese Entwicklung der deutschen Talsperren- und Wasserkraftunternehmungen eingreifen müssen[1]). Eine Ausnahme ist die Gründung des Ruhrtalsperrenvereins, der durch freiwilligen Zusammenschluß der Pumpwerke und Wassertriebwerke an der Ruhr entstanden ist, um Sammelbecken zu errichten für die Abgabe von Betriebswasser an die Werke im oberen Ruhrgebiet und für den Ersatz des von den Wasserwerken an der unteren Ruhr fortgepumpten Wassers. Eine freiwillige Vereinigung ist auch die Rurtalsperrengesellschaft in der Eifel (s. Abschnitt IV B).

In technischer Hinsicht hat man die Notwendigkeit der genauen Kenntnis des Wasserabflusses und des Wasserausgleichs durch Aufspeicherung in den Gebirgstälern erkannt. Schweizerische, französische und amerikanische Kraftanlagen sind zum Teil in der glücklichen Lage, daß sie ihren Wasserbedarf aus sehr hohen Ge-

1) Gesetz vom 19. 5. 1891 und vom 18. 4. 1900, betreffend die Bildung von Wassergenossenschaften.

birgen beziehen. Die Schneeschmelze der Gletscher und ausgiebige Niederschläge sichern diesen Werken ein gutes Gleichmaß der Wasserführung. Wir besitzen nur in Oberbayern zum Teil ähnliche günstige Verhältnisse und der Rhein dankt seinen verhältnismäßig hohen Wasserstand zur Sommerzeit der Speisung aus dem Gletschergebiet der Alpen. Bayern, Ost- und Westpreußen haben einige Seen, die sich zur Wasseraufspeicherung und -ausgleichung eignen. Im übrigen aber sind unsere Wasserkräfte in der »houille verte« der Mittelgebirge und im mittleren Laufe der Flüsse zu suchen. Die Aufgabe, die der deutsche Ingenieur im Gebirge zu lösen hat, ist der künstliche Aufstau großer Wassermassen durch Absperrung der Täler und die Vereinigung hoher Gefälle auf einen Punkt, um in zentralen Kraftwerken solche Kraftgrößen zu schaffen, die Gewicht für das wirtschaftliche Leben haben und mit andern mechanischen Kraftleistungen wettbewerbfähig sind. In der Kraftausnutzung in Zentralwerken an den Talsperren liegt ein Moment, das mehr als bisher geschehen allgemein zu gunsten des Talsperrenbaues — auch insofern er anderen Aufgaben dient — in den Vordergrund gerückt werden muß. Die Erträge dieser Wasserkräfte sind bei Sammelbeckenanlagen, die verschiedene Zwecke gemeinsam erfüllen, meist allein oder zum großen Teil imstande, die Verzinsung der angelegten Kapitalien und die Wirtschaftlichkeit des ganzen Unternehmens sicherzustellen.

Wo nach der Gestaltung der Geländeverhältnisse die Konzentrierung großer Nutzgefällhöhen nicht möglich ist, wird doch immerhin der Ausgleich des Wasserabflusses mittels Sammelbecken eine Verstärkung des Kraftwassers der kleinen Triebwerke herbeiführen können. Bei einigen deutschen Anlagen haben sich diese beiden Zwecke in günstiger Weise vereinigen lassen (Urft- und Ennepetalsperre).

An den mittleren und kanalisierten Flußläufen wird als leitender Gesichtspunkt gelten müssen, die möglichste Vereinigung der Interessen der Schiffahrt mit denen der Kraftausnutzung herbeizuführen.

Bei dem gegenüber anderen Ländern zurücktretenden Reichtum an großen für die Kraftgewinnung nutzbaren Wassermengen kommt es bei uns darauf an, durch geschickte bauliche Anordnungen und maschinelle Einrichtungen die äußerste Nutzwirkung zu erzielen.

Der wesentlichen Frage, ob in unseren Gebirgen geeignete Tal-

becken vorhanden sind, um den Aufstau in größerem Umfange zu ermöglichen, darf man nicht mit bangen Zweifeln entgegen sehen. Je mehr im letzten Jahrzehnt das Bestreben auf dem Gebiet des Talsperrenbaues an Ausdehnung gewonnen hat, um so mehr ist in oft überraschender Weise die günstige Gestaltung der Formationen unserer Mittelgebirge für den Ausbau großer Staubecken zutage getreten. Die geplanten, zum Teil für die Ausführung gesicherten Talsperrenanlagen im Rhein- und Wesergebiet, an der Elbe und Saale, wie in Schlesien tun dies dar. Es hat sich z. B. nach vorläufigen Untersuchungen erwiesen, daß im Wesergebiet Sammelbecken mit einem Gesamtstauinhalt von 560 Mill. cbm angelegt werden können, darunter die Talsperre an der Eder mit einem Fassungsvermögen bis 220 Mill. cbm. Im Ruhrgebiet wird neben vielen anderen Sperren ein Becken von 120 Mill. cbm Stauraum an der Möhne geplant. Gleich geräumige für Talsperren geeignete Täler finden sich in den Zuflüssen der Elbe und der Oder (s. auch Tab. 33 und 45).

Im Königreich Sachsen werden schon seit längerer Zeit Talsperrenanlagen für verschiedene Flußgebiete geplant. Besonderen Anlaß hierzu boten einerseits die Hochwasserschäden des Jahres 1897, die allein im Gebiete des von Tharandt nach Dresden den sog. Plauenschen Grund durchfließenden Weißeritzflusses auf 9,4 Mill. Mk. beziffert werden, andererseits die lange Dauer des Wassermangels im Sommer 1904, worunter die zahlreichen, auf Wasserkraft angewiesenen gewerblichen Anlagen Schaden litten. Für das Weißeritzgebiet sind zwei Talsperren bei Malter und Klingenberg in Aussicht genommen, deren Baukosten einschl. der Nebenanlagen auf 9660000 Mk. veranschlagt sind. Die Ausführung soll durch Bildung von Zwangsgenossenschaften erfolgen. Die Zwangsgenossen sollen entsprechend den Vorteilen, die ihre Grundstücke und Triebwerke aus der Anlage der Sammelbecken ziehen, zu Beiträgen herangezogen werden. Daneben sollen dem Unternehmen die Garantie des Staates gewährt, billige Gelder zur Ausführung dargeliehen und Beiträge zu den Betriebs- und Unterhaltungskosten zugeschossen werden[1]).

An der Zwickauer Mulde sind 15 Gebiete als geeignet für Talsperrenanlagen ermittelt und für 4 Talsperren Entwürfe aufgestellt. Im Erzgebirge ist ein Sammelbecken im Schwarzbachtale geplant, weitere Becken sind in Aussicht genommen im Quellgebiet der Freiberger Mulde

1) Zentralbl. d. Bauverw. 1904.

und im Triebischtale bei Meißen. Alle diese Talsperren dienen zur Aufhöhung des Niedrigwassers für Kraftzwecke. Für die Trinkwasserversorgung sind bereits einige Stauweiher in Sachsen vorhanden bzw. im Bau begriffen (Chemnitz, Plauen).

Die Tabelle 48 bringt eine Zusammenstellung von Plänen und Entwürfen für Talsperren- und Wasserkraftunternehmungen, deren Ausführung zum Teil gesichert ist.

Tabelle 48. Übersicht von Plänen und Entwürfen zu Wasserkraftunternehmungen in Deutschland.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Bemerkungen
Marklissa i. Schl. . .	—	1 400 *)	Talsperrenkraftwerk für 5 Mill. cbm Stauinhalt. Ausführung ist beschlossen. — *) An 12 Stunden täglich.
Mauer i. Schl. . . .	—	4 200 *)	Talsperrenkraftwerk für 20 Mill. cbm Stauinhalt. Ausführung ist beschlossen. — *) Bei 24stündigem Betrieb.
Kraftwerk an der Saaletalsperre . . .	—	Etwa 10 000—20 000	
Kraftwerk an der Okertalsperre . . .	48	1 200	Bei $14^1/_2$ stündigem Betrieb an 300 Arbeitstagen jährlich.
Triebwerke an der Oker und Aller. .	244	3 000	Während $14^1/_2$ Stunden an 300 Arbeitstagen.
Gesamtes Wesergebiet (ohne Hemfurter Sperre) . . .	—	15 000 *)	Nach den Aufrechnungen von Humann u. Abshoff. — Es werden im ganzen 30 Sperren mit einem Gesamtfassungsraum von 320 Mill. cbm und einem Kostenaufwande von 107 Mill. Mk. in Anregung gebracht (ohne Hemfurter Sperre). — *) Während 3000 Arbeitsstunden jährlich.
Hemfurter Sperre .	—	2000—3000	Fassungsraum des Beckens 170 bis 220 Mill. cbm. Kosten 12,7 Mill. Mk.
Kraftwerke d. Bodetalsperren	199	27 000	Während 10 Stunden täglich.
Triebwerke im Bober- u. Queisgebiet (Schlesien)	—	9 000	Während 7200 Stunden jährlich.
Triebwerke an der Glatzer Neiße . . .	—	3 000	Während 7200 Stunden jährlich.
Wasserkräfte am Masurischen Schifffahrtskanal.	112	13 000	Nach Ermittelungen von Intze. Tag und Nacht verfügbar.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Bemerkungen
Ostpreußisch. Seen- und Flußgebiet . .	Bei Nutzgefällen bis 97 m	47 000	Nach Ermittelungen von Intze.
Weserkanalisierung.	0,75—2,82	54 000	An 25 Wehren nach Berechnungen von Prüsmann.
Mainkanalisierung .	0,76—2,70	24 000	An 8 Wehren wie vor.
Oderkanalisierung .	0,67—2,60	36 000	An 21 Wehren wie vor.
Moselkanalisierung .	0,64—2,50	50 000–109 000	An 31—32 Wehren. Die Zahlen geben mittlere bis Höchstleistung an.
Westpreußen (Seen- und Flußgebiet). .	—	54 360	Gegenwärtig werden 5030 PS. ausgenutzt. Nach Ermittl. von Holz.
Pommern (Seen- u. Flußgebiet)	—	49 820	Gegenwärtig werden 7700 PS. ausgenutzt. Wie vor.
Leine (Wesergebiet)	—	14 000	Es sind 61 Becken mit 115 Mill. cbm Gesamtstauraum in Anregung gebracht. Damit könnte neben der Kraftgewinnung die gleichzeitige Schiffbarmachung der Leine für 250 t-Schiffe erfolgen.
Bayern	—	700 000	Nach v. Miller stellen diese 700 000 PS. die wirklich nutzbaren Kräfte dar. Die Gesamtleistung der am Nordabhange der Alpen vorhandenen Wasserkräfte wird auf 2,5 bis 3 Mill. PS. geschätzt.
Kraftanlage am Walchen- u. Kochelsee (Bayern)	200	20 000—25 000	Die obere Isar soll in den Walchensee mittels Tunnel geleitet werden und dieser See soll als Ausgleichbecken dienen. Das Kraftwerk am Kochelsee wird den Wasserspiegelunterschied der beiden Seen ausnutzen.
Rheinstrecke vom Fall b. Neuhausen bis zum Kaiserstuhlgebirge, und zwar:			
Laufenburg	13,1	50 000	Ausführung ist von Baden und der Schweiz einer Privatunternehmung genehmigt. — Im ganzen können auf dieser Rheinstrecke mit 165 m Nutzgefälle rd. 430 000 PS. gewonnen werden (einschl. Rheinfelden). Nähere Mitteilungen s. Beiträge zur Hydrographie des Großherz. Baden, XII. Heft, 1906, u. Schweiz. Bauztg. 1906.
Rheinau	11,3	17 400	
Eglisau.	6,4	11 600	
Wylen-Augst . . .	8,4	29 000	
Kembs. . } bei Klein-Landau. } Mühlhausen	23,1	60 000	
Außerdem in 12 Werken.	96,1	243 000	

Wir stehen gegenwärtig inmitten dieser Aufwärtsbewegung. Die Öffentlichkeit nimmt daran regen Anteil und es ist bezeichnend, daß

selbst die Tagespresse heute lebhaft die Wasserkraftfrage erörtert. Es ist erfreulich, daß diese Erkenntnis von der wirtschaftlichen Bedeutung der Wasserkraftnutzung in weite Kreise dringt. Dadurch ist die Gewähr gegeben, daß die allgemeinere praktische Betätigung auf diesem Gebiet nahe rückt.

Wir werden uns in der Verfolgung dieses Zieles hüten müssen, den Ausblick zu enge zu nehmen. Mit großer Auffassung müssen wir in die Zukunft schauen und in den Rahmen eines einheitlichen Systems alle unsere Arbeiten kleiden[1]). Der Blick des Ingenieurs muß sich dabei loslösen von den kleinen Aufgaben des Tages und über Jahre und Jahrzehnte hinausschweifend für den Ausbau unserer Wasserkraftnutzung die Richtung festlegen, ohne der freien Entwicklung und dem Schaffen der Zeit Fesseln anzulegen. Solch ein großes Programm, das allein die vollkommene Ausbeute eines nationalen Gutes gegenüber der Verzettelung in planlose Einzelanlagen gewährleistet, läßt sich nur auf breiter Grundlage aufstellen, und dieser Gesichtspunkt einer zweckmäßig organisierten Wasserwirtschaft spricht auch in Deutschland bedeutend für die Nutzbarmachung der Wasserkräfte und des Talsperrenbaues im Gebirge für staatliche oder sonst der Allgemeinheit dienende Zwecke.

1) Vgl. des Verfassers Schrift: Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft, Berlin 1902 (S. 49 ff.).

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

89090522780

b89090522780a